

**PEMANFAATAN BUDIDAYA *BLACK SOLDIER FLY*
(BSF, *Hermetia illucens*) DALAM MEREDUKSI GAS METANA
DAN PEMBUATAN BRIKET ARANG**

TUGAS AKHIR

Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Strata – 1 pada
Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Andalas

Oleh:

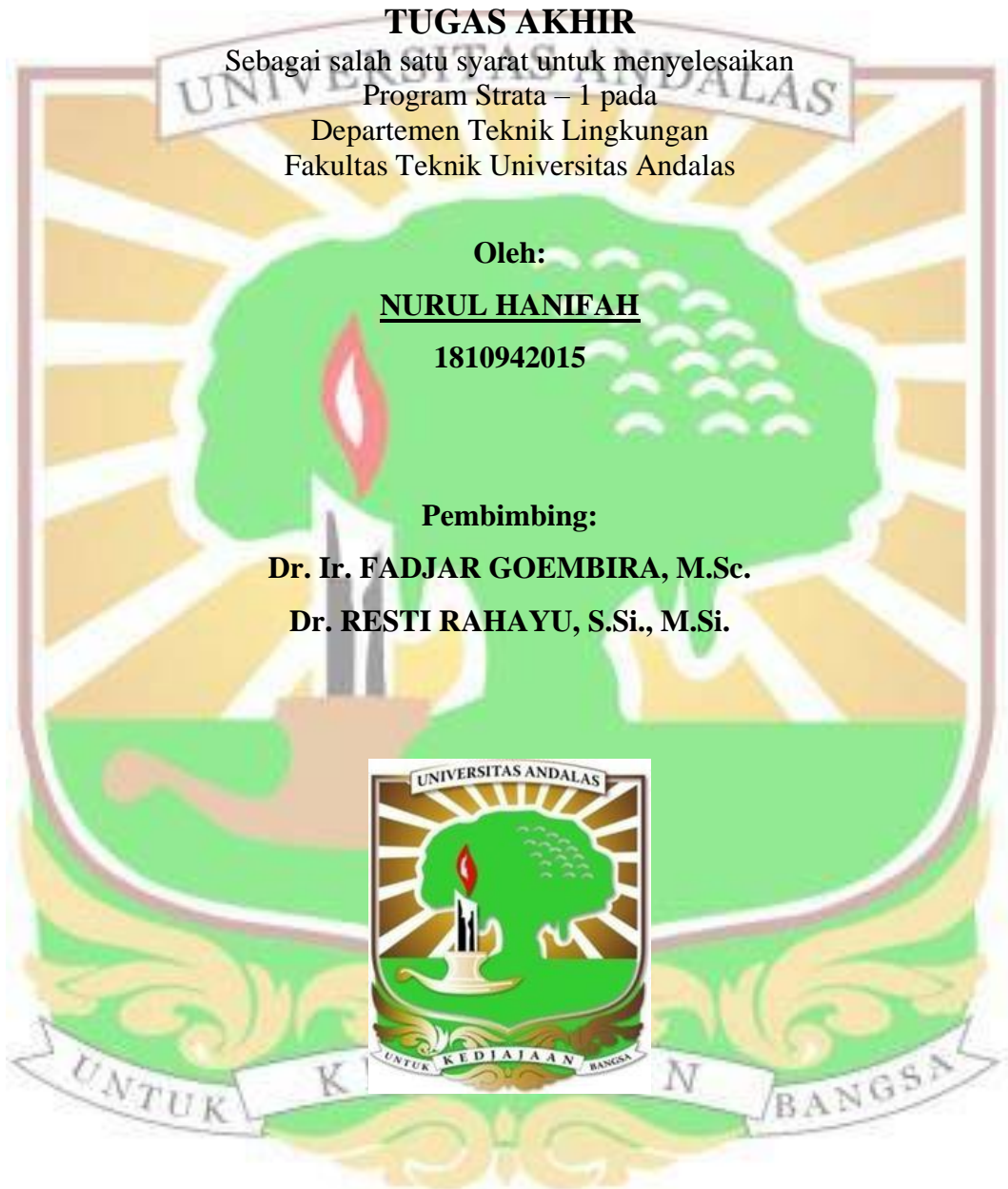
NURUL HANIFAH

1810942015

Pembimbing:

Dr. Ir. FADJAR GOEMBIRA, M.Sc.

Dr. RESTI RAHAYU, S.Si., M.Si.



**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG**

2022

LEMBAR PENGESAHAN

PEMANFAATAN BUDI DAYA *BLACK SOLDIER FLY* (BSF,
Hermetia illucens) DALAM MEREDUKSI GAS METANA DAN
PEMBUATAN BRIKET ARANG

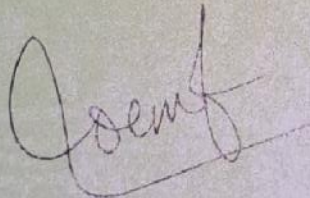
Nama : Nurul Hanifah

NIM : 1810942015

Lulus Sidang Tugas Akhir tanggal: 16 Desember 2022

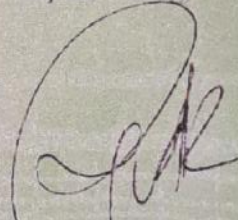
Disetujui oleh:

Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Fadiar Goembira, M.Sc.
NIP. 197607182001121402

Kopembimbing,



Dr. Resu Rahayu, S.Si., M.Si
NIP. 197402212005012001

Disahkan oleh:
Ketua Departemen,



Rizki Aziz, Ph.D
NIP. 197610312005011001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang ditulis dengan judul: **Pemanfaatan Budidaya *Black Soldier Fly* (BSF, *Hermetia illucens*) dalam Mereduksi Gas Metana dan Pembuatan Briket Arang** adalah benar hasil kerja/karya saya sendiri dan bukan merupakan tiruan hasil kerja/karya orang lain, kecuali kutipan pustaka yang sumbernya dicantumkan. Jika kemudian hari pernyataan ini tidak benar, maka status kelulusan dan gelar yang saya peroleh menjadi batal dengan sendirinya.

Padang, 16 Desember 2022

Yang membuat pernyataan,

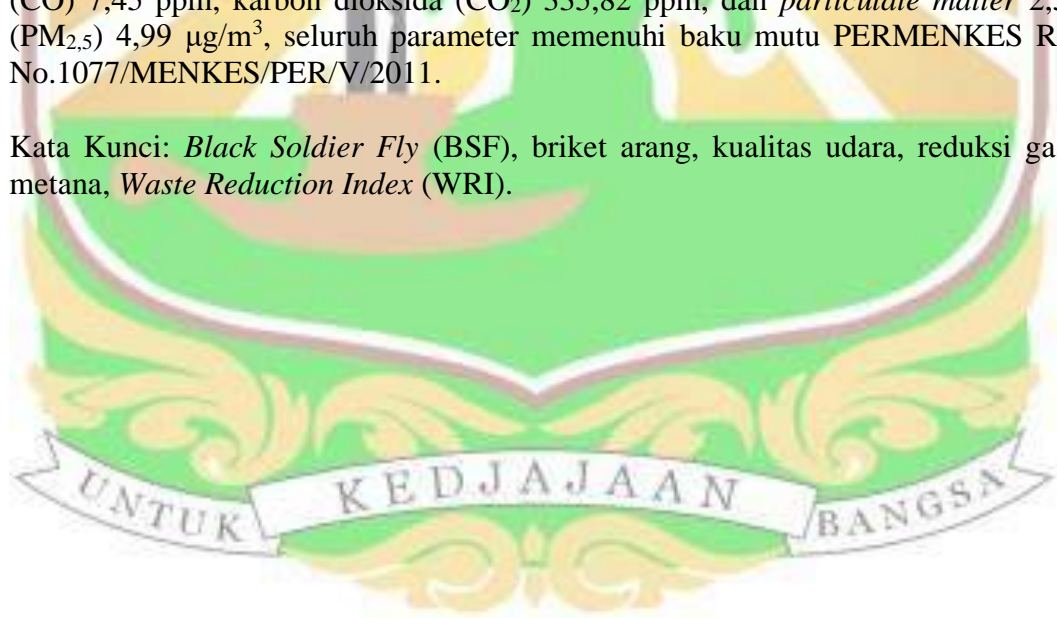


Nurul Hanifah
NIM. 1810942015

ABSTRAK

Budi daya *Black Soldier Fly* (BSF) dapat mengolah sampah sisa makanan, yang dapat menjadi solusi untuk mereduksi gas metana yang dihasilkan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA). Limbah budi daya BSF berupa bangkai dan kerabang BSF dapat dimanfaatkan sebagai bahan briket arang untuk mengurangi pemakaian bahan bakar fosil. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi manfaat budi daya BSF dalam pengolahan sampah sisa makanan untuk mereduksi gas metana dan mengevaluasi potensi pemanfaatan limbah budi daya BSF sebagai bahan bakar briket arang. Perhitungan reduksi gas metana oleh larva BSF menggunakan pemodelan IPCC 2006 dilakukan setelah analisis *Waste Reduction Index* (WRI) selama dua minggu. Briket arang limbah budi daya BSF dibuat dengan perbandingan bangkai BSF : kerabang BSF, yaitu 1:3 dan perekat yang digunakan adalah tepung kanji variasi 10% dan 15%. Hasil penelitian menunjukkan Larva BSF mampu mereduksi sampah sebesar $78,7 \pm 0,008\%$ dari massa total sampah dengan nilai WRI sebesar $5,62 \pm 0,059\%$ per hari, yang mampu mengurangi produksi gas metana di TPA sebesar $20,08 \text{ Gg CO}_2\text{e}$. Persentase perekat kanji terpilih 15%, dengan nilai kadar air $3,53 \pm 0,035\%$ memenuhi SNI 01-6235-2000. Sementara kadar abu $22,49 \pm 0,065\%$, kadar zat terbang $57,76 \pm 0,260\%$, kadar karbon terikat $16,23 \pm 0,230\%$, kerapatan $0,55 \pm 0,005 \text{ g/cm}^3$, dan nilai kalor $3.933,52 \pm 3,895 \text{ kal/g}$ belum memenuhi SNI 01-6235-2000. Konsentrasi terbesar pencemar udara di dalam ruangan pada fase *cold start* adalah saat pembakaran 400 gram briket arang pada kompor biomassa sawir generasi kedua. Untuk parameter karbon monoksida (CO) 7,45 ppm, karbon dioksida (CO₂) 335,82 ppm, dan *particulate matter* 2,5 (PM_{2,5}) $4,99 \mu\text{g/m}^3$, seluruh parameter memenuhi baku mutu PERMENKES RI No.1077/MENKES/PER/V/2011.

Kata Kunci: *Black Soldier Fly* (BSF), briket arang, kualitas udara, reduksi gas metana, *Waste Reduction Index* (WRI).



ABSTRACT

Black Soldier Fly (BSF) cultivation can process food waste, which can be a solution to reduce methane gas produced by Solid Waste Disposal Sites (SWDS). BSF cultivation waste in the form of carcasses and exuviae pupae can be used as charcoal briquettes to reduce fossil fuel usage. This study aims to evaluate the benefits of BSF cultivation in processing food waste to decrease methane gas and Assess the potential utilization of BSF cultivation wastes as material for charcoal briquettes. Calculation of methane gas reduction by BSF larvae using IPCC 2006 modeling was carried out after analyzing the Waste Reduction Index (WRI) for two weeks. BSF cultivation waste was utilized as charcoal briquettes with a ratio of BSF carcass : exuviae pupae BSF, i.e., 1:3, and the binder used was tapioca starch with variations of 10% and 15%. The results showed that BSF larvae could minimize waste by $78.7 \pm 0.008\%$ of the total waste mass with the WRI value of $5.62 \pm 0.059\%$ per day, which decreased methane gas production in SWDS by 20.08 Gg CO₂e. The percentage of selected tapioca starch binder was 15%, with water content value of $3.53 \pm 0.035\%$, which complied with SNI 01-6235-2000. While the ash content of $22.49 \pm 0.065\%$, the volatile matter content of $57.76 \pm 0.260\%$, the fixed carbon content of $16.23 \pm 0.230\%$, the density of 0.55 ± 0.005 g/cm³, and the calorific value of $3.933,52 \pm 3,895$ cal/g did not pass the standard by SNI 01-6235-2000. The most significant concentration of indoor air pollutants in the cold start phase was when burning 400 grams of charcoal briquettes on the second-generation sawir biomass stove. For the parameters of carbon monoxide (CO) 7.45 ppm, carbon dioxide (CO₂) 335.82 ppm, and particulate matter 2.5 (PM_{2.5}) 4.99 µg/m³, all parameters complied with the quality standard by PERMENKES RI No.1077/MENKES/PER/V/2011.

Keywords: Air quality, Black Soldier Fly (BSF), charcoal briquettes, methane gas reduction, Waste Reduction Index (WRI).



KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillahirabbil'aalamiin, puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya serta shalawat salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Pemanfaatan Budi Daya *Black Soldier Fly* (BSF, *Hermetia illucens*) dalam Mereduksi Gas Metana dan Pembuatan Briket Arang**. Penulisan Tugas Akhir ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana pada Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas. Penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Orang tua yang penulis cintai, Ayah Prof. Dr. Eng. Rendy Thamrin, Ibu Dr. dr. Hj. Arina Widya Murni, Sp.PD, K-Psi, FINASIM, serta adik-adik tercinta Aziz dan Jasmine, yang telah memberikan semangat, cinta, dukungan, motivasi, do'a, air mata, dan kesabaran yang sangat besar dalam menguatkan penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini;
2. Bapak Dr. Ir. Fadjar Goembira, M.Sc. dan Ibu Dr. Resti Rahayu, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, ilmu, serta pemahaman kepada penulis;
3. Ibu Resti Ayu Lestari, M.T. dan Ibu Budhi Primasari, M.Sc. selaku dosen penguji yang telah memberikan koreksi, kritik, dan saran membangun kepada penulis demi kesempurnaan Tugas Akhir ini;
4. Ibu Reri Afrianita, M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing penulis sejak semester awal hingga selesainya masa perkuliahan penulis;
5. Bapak Rizki Aziz, Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan, Ibu Tivany Edwin M.Eng. selaku Ketua Prodi S-1 Departemen Teknik Lingkungan, Koordinator Tugas Akhir Ibu Yega Serlina, M.T., serta Bapak/Ibu Staf pengajar Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas yang telah memberikan ilmu dan bantuan kepada penulis;

6. Ibu Rati Yuliarningsih, Bapak Anto, dan keluarga MinaGot Sumbar yang telah memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis selama masa penelitian untuk Tugas Akhir ini;
7. Analis Laboratorium Penelitian Teknik Lingkungan Ibu Syofni, S.Si., Ibu Nurhasmi, S.P., dan Uni Firda Winengsih, S.P. yang telah membantu penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini;
8. Rekan seperjuangan tim Maggot BSF (Waid dan Dini) beserta tim riset *biofuel* yang bersama-sama mengerjakan penelitian dan berbagi ilmu dalam menyelesaikan Tugas Akhir;
9. Sahabat COD (Waid, Caca, Tessa, Ipat, dan Jeje) dan sahabat AEC (Khaira, Waid, Naya, Purti, Raisa, Sapir, dan Lupi) yang selalu mendukung, menemani, mendengarkan keluh kesah, dan memberikan semangat kepada penulis;
10. Sahabat ÉLEPHASE yang meramaikan masa kuliah dan membantu perjalanan penulis menuju gelar ini;
11. Keluarga Laboratorium Mikrobiologi Lingkungan beserta analis Ibu Nurhasmi, S.P.;
12. Keluarga besar ERDC FT-UNAND dan HMTL FT-UNAND;
13. 16 kucing penulis (Yujin, Mugi, Zoe, Kitty, Kenji, Catty, Candy, Seojin, Shiro, Shasha, Simba, Sora, Koko, Keiko, Kenny, Kei) yang selalu menjadi penghibur dan penyemangat penulis;
14. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang turut membantu Penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Apabila nantinya terdapat kekurangan dan kesalahan dalam penulisan tugas akhir ini, penulis berharap adanya kritik, masukan, dan saran yang membangun. Akhir kata, penulis berharap tulisan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Padang, 16 Desember 2022

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian	3
1.3 Manfaat Penelitian	4
1.4 Ruang Lingkup.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 <i>Black Soldier Fly</i> (BSF).....	7
2.1.1 Siklus Hidup BSF	7
2.1.2 Manfaat Budi Daya BSF	7
2.1.3 Reduksi Sampah Oleh Larva BSF dan <i>Waste Reduction Index</i> (WRI) ...	8
2.2 Gas Metana (CH ₄).....	9
2.3 Limbah BSF sebagai Biomassa.....	13
2.4 Konversi dan Pemanfaatan Energi Biomassa	14
2.5 Briket Arang.....	16
2.5.1 Teknologi Pengarangan Biomassa	16
2.5.2 Teknologi dan Mekanisme Pembuatan Briket Arang	17
2.5.3 Tepung Kanji Sebagai Perikat Briket Arang	18
2.6 Kualitas Udara di Dalam Ruangan.....	19
2.6.1 Gas Karbon Monoksida (CO)	19
2.6.2 Gas Karbon Dioksida (CO ₂)	20
2.6.3 <i>Particulate Matter</i> 2,5 (PM _{2,5})	21
2.7 Kompor Biomassa Sawir.....	21
2.8 Pengujian Kualitas Briket Arang	22
2.8.1 Kadar Air (<i>Moisture Content</i>).....	22
2.8.2 Kadar Abu (<i>Ash Content</i>).....	23
2.8.3 Kadar Zat Terbang (<i>Volatile Matter</i>)	23
2.8.4 Kadar Karbon Terikat (<i>Fixed Carbon</i>)	24
2.8.5 Kerapatan	24
2.8.6 Nilai Kalor	25
2.9 Pengukuran dan Analisis Kualitas Udara di Dalam Ruangan.....	25
2.9.1 Konsentrasi Gas CO ₂ dan CO	25
2.9.2 Konsentrasi PM _{2,5}	26
2.10 Pengukuran Laju Konsumsi Bahan Bakar	26
2.11 Peraturan Terkait.....	27
2.12 Penelitian Terdahulu	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32

3.1 Umum	32
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	32
3.3 Tahapan Penelitian	33
3.3.1 Studi Literatur	34
3.3.2 Studi Pendahuluan	34
3.3.3 Pengumpulan Data Sekunder	37
3.3.4 Pengumpulan Data Primer	38
3.3.5 Analisis Data dan Pembahasan	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Umum	53
4.2 Reduksi Sampah oleh Larva BSF	53
4.2.1 <i>Waste Reduction Index</i> (WRI)	53
4.2.2 Perhitungan Reduksi Gas Metana di TPA	55
4.3 Hasil Uji Kualitas Briket Arang Bangkai dan Kerabang BSF	58
4.4 Hasil Uji <i>Water Boiling Test</i> (WBT)	60
4.5 Hasil Uji Kualitas Udara di dalam Ruangan	62
4.5.1 Konsentrasi Gas CO Sebelum dan Saat Pembakaran Briket Arang	63
4.5.2 Konsentrasi Gas CO ₂ Sebelum dan Saat Pembakaran Briket Arang	64
4.5.3 Konsentrasi PM _{2,5} Sebelum dan Saat Pembakaran Briket Arang	66
4.6 Studi Literatur dan Analisis Perhitungan Pencampuran Bahan Briket Bangkai dan Kerabang BSF dengan Arang Tempurung Kelapa	67
4.7 Hasil Uji WBT Menggunakan Kompor Biomassa Prinsip <i>Top-Lit Up Draft</i> (TLUD) <i>Gasifier</i>	71
BAB V PENUTUP	74
5.1 Kesimpulan	74
5.2 Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	82



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Pembentukan GRK dari Tumpukan Sampah di TPA	10
Gambar 2.2	Teknologi Pengolahan Limbah di Perkotaan	14
Gambar 2.3	Komponen Kompor Biomassa Sawir	22
Gambar 3.1	Diagram Alir Tahapan Penelitian	33
Gambar 3.2	<i>Biopond</i> Tempat Budi Daya Larva BSF	34
Gambar 3.3	Susunan <i>Biopond</i>	35
Gambar 3.4	<i>Layout</i> Ruang Isolasi Penelitian	35
Gambar 3.5	Ruang Isolasi Penelitian	36
Gambar 3.6	Hasil Uji Pendahuluan	37
Gambar 3.7	Kompor Biomassa Sawir Generasi Kedua	38
Gambar 3.8	(a) dan (b), Sampah Makanan yang Telah Dicacah	39
Gambar 3.9	Penimbangan Pakan	40
Gambar 3.10	Pemberian Pakan Hari Ke-1	40
Gambar 3.11	Penyaringan Kasgot	40
Gambar 3.12	Sisa Reduksi Sampah	41
Gambar 3.13	Proses Pembuatan Briket	43
Gambar 4.1	Grafik Reduksi Gas Metana (CH ₄)	58
Gambar 4.2	Briket Arang Memenuhi Ruang Pembakaran Kompor Biomassa	61
Gambar 4.3	Api yang Dihasilkan oleh Briket Arang	62
Gambar 4.4	(a) dan (b) Briket Arang yang Tidak Terbakar Sempurna	62
Gambar 4.5	Konsentrasi Gas CO Fase <i>Background</i>	63
Gambar 4.6	Konsentrasi Gas CO Fase <i>Cold Start</i>	64
Gambar 4.7	Konsentrasi Gas CO ₂ Fase <i>Background</i>	65
Gambar 4.8	Konsentrasi Gas CO ₂ Fase <i>Cold Start</i>	65
Gambar 4.9	Konsentrasi PM _{2,5} Fase <i>Background</i>	66
Gambar 4.10	Konsentrasi PM _{2,5} Fase <i>Cold Start</i>	67
Gambar 4.11	<i>Filter Fiber Glass</i> Setelah Uji WBT	67
Gambar 4.12	Prinsip <i>Top-Lit Up Draft</i> (TLUD) <i>Gasifier</i>	72
Gambar 4.13	Api Hasil Pembakaran pada Kompor TLUD <i>Gasifier</i>	73
Gambar J.1	MinaGot Sumbar	178
Gambar J.2	Penimbangan Larva BSF Sebelum Perlakuan	178
Gambar J.3	Penimbangan Larva BSF Setelah Penyaringan Kasgot	178
Gambar J.4	Penimbangan Kasgot	178
Gambar J.5	Karbonisasi Bahan Briket Arang	178
Gambar J.6	Pembuatan Perekat Kanji	178
Gambar J.7	Pencampuran Bahan Briket Arang dengan Perekat Kanji	179
Gambar J.8	Penjemuran Briket Arang	179
Gambar J.9	Pengujian Kualitas Briket Arang	179
Gambar J.10	Pengujian Nilai Kalor Briket Arang	179
Gambar J.11	Perletakan Kompor Biomassa dan Alat Uji Kualitas Udara di Dalam Ruangan	179
Gambar J.12	Proses Uji WBT	179

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Produksi Telur oleh BSF Betina.....	7
Tabel 2.2	Nilai <i>Default</i> DOC	12
Tabel 2.3	Faktor Oksidasi untuk TPA.....	12
Tabel 2.4	Klasifikasi TPA dan Nilai MCF.....	13
Tabel 2.5	Persyaratan Mutu Briket Arang Berdasarkan SNI	28
Tabel 2.6	Nilai Persyaratan Kualitas Udara dalam Ruang Rumah	28
Tabel 2.7	Penelitian Terdahulu Terkait WRI	30
Tabel 2.8	Penelitian Terdahulu Terkait Briket Arang Berperekat Tepung Kanji	31
Tabel 3.1	Tempat dan Kegiatan Penelitian	32
Tabel 3.2	Pemberian Pakan Larva BSF.....	39
Tabel 3.3	Komposisi Briket Arang yang Akan Diuji.....	41
Tabel 3.4	Hasil Uji Kualitas Bahan Baku Briket Arang	44
Tabel 4.1	Rekapitulasi Reduksi Sampah Oleh Larva BSF.....	54
Tabel 4.2	Perbandingan Persentase Degradasi dan WRI Beberapa Penelitian ..	54
Tabel 4.3	Hasil Uji Kualitas Briket Arang Bangkai dan Kerabang BSF	58
Tabel 4.4	Kualitas Arang Berdasarkan Literatur.....	68
Tabel 4.5	Data Kualitas Bahan Baku	68
Tabel 4.6	Perbandingan Bahan Baku Briket Arang Berdasarkan Perhitungan..	71
Tabel 4.7	Perbandingan Hasil Uji WBT dengan Kompor Biomassa Berbeda...	73
Tabel E.1	Data Massa Satu Ekor Larva Tiap Ulangan	147
Tabel E.2	Data Massa Total Larva BSF Tiap Ulangan	147
Tabel E.3	Data Massa Pakan	147
Tabel E.4	Data Kadar Air Pakan	148
Tabel E.5	Perhitungan Regresi Linear Pakan Basah dan Pakan Kering.....	148
Tabel E.6	Data Sisa Reduksi oleh Larva BSF	149
Tabel E.7	Rekapitulasi Tingkat Degradasi	149
Tabel E.8	Rekapitulasi <i>Waste Reduction Index</i>	150
Tabel F.1	Rekapitulasi Perhitungan Kadar Air	154
Tabel F.2	Rekapitulasi Perhitungan Kadar Abu	155
Tabel F.3	Rekapitulasi Perhitungan Kadar Zat Terbang	156
Tabel F.4	Rekapitulasi Perhitungan Kadar Karbon Terikat	156
Tabel F.5	Rekapitulasi Perhitungan Kerapatan	157
Tabel F.6	Rekapitulasi Perhitungan Nilai Kalor	158
Tabel G.1	Data Temperatur, Tekanan, dan <i>Flowrate</i> Sampling <i>Background</i> Uji 1	160
Tabel G.2	Data Temperatur, Tekanan, dan <i>Flowrate</i> Sampling <i>Background</i> Uji 2.....	161
Tabel G.3	Data Temperatur, Tekanan, dan <i>Flowrate</i> Sampling <i>Background</i> Uji 3.....	162
Tabel G.4	Data Temperatur, Tekanan, dan <i>Flowrate</i> Sampling <i>Cold Start</i> Uji 1	164
Tabel G.5	Data Temperatur, Tekanan, dan <i>Flowrate</i> Sampling <i>Cold Start</i> Uji 2.....	164

Tabel G.6	Data Temperatur, Tekanan, dan <i>Flowrate</i> Sampling <i>Cold Start</i> Uji 3.....	165
Tabel G.7	Rekapitulasi Data Temperatur, Tekanan, dan <i>Flowrate</i>	166
Tabel G.8	Rekapitulasi Volume Standar (V_{stp})	167
Tabel H.1	Data CO dan CO ₂ pada Fase <i>Background</i>	169
Tabel H.2	Data CO dan CO ₂ pada Fase <i>Cold Start</i>	170
Tabel H.3	Rekapitulasi Konsentrasi CO	171
Tabel H.4	Rekapitulasi Konsentrasi CO ₂	172
Tabel I.1	Massa Filter <i>Fiber Glass</i> Fase <i>Background</i> Uji 1	174
Tabel I.2	Massa Filter <i>Fiber Glass</i> Fase <i>Background</i> Uji 2.....	174
Tabel I.3	Massa Filter <i>Fiber Glass</i> Fase <i>Background</i> Uji 3	174
Tabel I.4	Massa Filter <i>Fiber Glass</i> Fase <i>Cold Start</i> Uji 1	175
Tabel I.5	Massa Filter <i>Fiber Glass</i> Fase <i>Cold Start</i> Uji 2.....	175
Tabel I.6	Massa Filter <i>Fiber Glass</i> Fase <i>Cold Start</i> Uji 3	175
Tabel I.7	Rekapitulasi Konsentrasi PM _{2,5}	176



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A: The Water Boiling Test Procedure Version 4.2.3
- Lampiran B: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
Volume 5: Waste, Chapter 2: Waste Generation, Composition and
Management Data & Chapter 3: Solid Waste Disposal
- Lampiran C: Peraturan Menteri Kesehatan RI No.
1077/MENKES/PER/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan
Udara Dalam Ruang Rumah
- Lampiran D: SNI 06-3730-1995 Tentang Arang Aktif Teknis dan SNI 01-
6235-2000 Tentang Briket Arang Kayu
- Lampiran E: Perhitungan WRI dan Reduksi Gas Metana
- Lampiran F: Uji Kualitas Briket Arang
- Lampiran G: Temperatur, Tekanan, dan *Flowrate* Saat Sampling
- Lampiran H: Uji Kualitas Udara di Dalam Ruangan Parameter CO₂ dan CO
- Lampiran I : Uji Kualitas Udara di Dalam Ruangan Parameter PM_{2,5}
- Lampiran J : Dokumentasi Penelitian



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan bahan bakar fosil dalam kegiatan sehari-hari dapat menyebabkan peningkatan emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Berdasarkan laporan inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) (2020), total GRK nasional sektor energi pada tahun 2019 mencapai angka 638.808 Gg CO₂e, yang mana mengalami peningkatan sebesar 321.199 Gg CO₂e jika dibandingkan dengan total GRK nasional sektor energi pada tahun 2000 saat awal inventarisasi GRK di Indonesia dilakukan. Gas metana merupakan GRK yang memiliki kontribusi terbesar kedua setelah CO₂ (Prabowo, *et al.*, 2019) dan memiliki *Global Warming Potential* (GWP) 28 kali lebih besar dari gas CO₂ (Environmental Protection Agency (EPA), 2022). GRK metana adalah GRK utama yang dihasilkan dari sektor limbah, tepatnya sebesar 127.491 GgCO₂e (95,06% dari total GRK sektor limbah) pada tahun 2019 (Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, 2020). Peningkatan emisi GRK menyebabkan peningkatan temperatur permukaan bumi. Berdasarkan National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2020), tercatat anomali rata-rata temperatur permukaan bumi tahunan secara global yaitu sebesar 1,02°C pada tahun 2020, yang mana mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan anomali rata-rata temperatur permukaan bumi tahunan tahun 2019 yaitu sebesar 0,98°C. Oleh karena itu, diperlukan solusi untuk dapat mengatasi besarnya potensi pemanasan global oleh penggunaan bahan bakar fosil dan pengelolaan limbah di TPA tersebut.

GRK metana sebagian besar dihasilkan saat dekomposisi sampah organik secara anaerobik di Tempat Pemrosesan Akhir sampah (TPA). Sampah sisa makanan merupakan salah satu jenis sampah organik di TPA. Berdasarkan Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) (2022), di Kota Padang sampah sisa makanan merupakan jenis sampah dengan persentase terbesar, yaitu sebesar 62,80%. Sampah sisa makanan dapat berasal dari berbagai tempat, salah satunya dari rumah makan. Berdasarkan penelitian Dewilda, *et al.* (2019), terdapat 98 usaha

rumah makan di Kota Padang dengan persentase sampah organik yang dihasilkan sebesar 76,66% dan 38,23% didalamnya merupakan sampah sisa makanan.

Black Soldier Fly (BSF) merupakan spesies lalat yang dapat dimanfaatkan untuk mengurai sampah organik seperti sampah sisa makanan. Berdasarkan penelitian Sipayung (2015), larva BSF mampu mendegradasi sampah organik berupa sampah kantin dengan persentase reduksi sebesar 65% untuk frekuensi pemberian pakan 1×1 hari. Budi daya BSF dapat dijadikan sebagai salah satu metode pengolahan sampah organik yang dapat menjadi solusi dalam mengurangi produksi GRK metana oleh penumpukan sampah organik di TPA.

Pengolahan sampah dengan BSF, selain menghasilkan produk bernilai seperti larva BSF yang bermanfaat sebagai pakan hewan ternak juga menghasilkan limbah lalat dewasa yang sudah mati atau bangkai BSF dan kerabang BSF yang dihasilkan pada saat pupa berganti kulit menuju tahap daur hidup selanjutnya (Wahyuni, *et al.*, 2020). Limbah bangkai dan kerabang BSF memiliki potensi untuk dimanfaatkan menjadi bahan energi terbarukan yaitu biomassa. Biomassa merupakan segala bahan biologis, berasal dari tumbuhan maupun hewan yang dapat digunakan untuk memproduksi panas dan/atau tenaga, sehingga dapat dikonversi menjadi bahan bakar seperti briket arang (Abimanyu & Hendrana, 2014).

Briket arang adalah bahan bakar padat yang memiliki nilai kalor tinggi, mengandung karbon, dapat menyala dalam waktu lama, dan dapat dibuat dengan material bioarang yang merupakan biomassa yang di karbonisasi (Isa, *et al.*, 2012). Pembuatan briket arang memerlukan perekat dengan tujuan agar partikel arang saling terikat sehingga briket tidak mudah hancur (Amin, 2017). Salah satu perekat yang umum digunakan adalah tepung kanji, karena pemakaiannya yang mudah dan memiliki daya rekat kering yang tinggi (Anizar, *et al.*, 2020). Pada penelitian ini dilakukan dua variasi perekat kanji untuk uji kualitas briket arang, yaitu 10% dan 15%. berdasarkan penelitian terdahulu, beberapa diantaranya yaitu penelitian Medio (2021) dan Sudding dan Jamaluddin (2015). Penelitian Medio (2021) menyatakan bahwa kualitas briket arang jerami padi berperekat kanji 10% telah memenuhi baku mutu uji kualitas untuk semua parameter kecuali nilai kalor. Sementara itu Sudding dan Jamaluddin (2015) menemukan bahwa persentase campuran perekat kanji

berpengaruh terhadap keutuhan briket dan lama waktu pembakaran briket arang, serta didapatkan persentase perekat kanji optimum sebesar 15% dari berat bahan. Analisis kualitas briket arang mengikuti SNI 01-6235-2000 Tentang Briket Arang Kayu dan SNI 06-3730-1995 Tentang Arang Aktif Teknis. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan baku mutu pada SNI tersebut.

Pembakaran bahan bakar biomassa, jika tidak dalam kondisi yang tidak efisien dapat menghasilkan polutan ke atmosfer, diantaranya gas polutan dan *particulate matter* (PM), umumnya PM berukuran kecil dari 2,5 μm (PM_{2,5}) (Sun, et al., 2019). Selain PM_{2,5}, proses pembakaran biomassa juga menghasilkan gas CO dan CO₂ (Goembira, et al., 2021). Sehingga pada penelitian ini dilakukan uji kualitas udara di dalam ruangan untuk pembakaran briket arang bangkai dan kerabang BSF pada kompor biomassa dengan parameter CO, CO₂, dan PM_{2,5}. Uji kualitas udara di dalam ruangan ini kemudian dibandingkan dengan Peraturan Menteri Kesehatan No. 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruang Rumah.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini yaitu untuk mengevaluasi manfaat budi daya BSF dalam pengolahan sampah organik sisa makanan untuk mereduksi gas metana dan mengevaluasi potensi pemanfaatan limbah budi daya BSF sebagai bahan bakar briket arang yaitu bangkai dan kerabang BSF dengan perekat tepung kanji 10% dan 15%.

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menghitung nilai reduksi gas metana yang dihasilkan oleh TPA di Kota Padang dengan nilai *Waste Reduction Index* (WRI) larva BSF dengan jenis sampah organik sisa rumah makan;
2. Mengevaluasi kualitas briket arang bangkai dan kerabang BSF berperekat tepung kanji terhadap baku mutu SNI 01-6235-2000 dan SNI 06-3730-1995;
3. Mengevaluasi pengaruh pembakaran briket arang bangkai dan kerabang BSF terhadap kualitas udara di dalam ruangan dengan parameter CO, CO₂, dan PM_{2,5} terhadap baku mutu PERMENKES RI No.1077/MENKES/PER/V/2011.

1.3 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Sebagai salah satu solusi dalam mengurangi gas metana yang dihasilkan oleh TPA karena potensi pengolahan sampah organik oleh BSF;
2. Limbah bangkai dan kerabang BSF yang dijadikan briket arang dapat dijadikan sebagai pertimbangan bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar tak terbarukan;
3. Mengetahui kualitas briket arang bangkai dan kerabang BSF berpekat tepung kanji dan pengaruh pembakarannya terhadap kualitas udara di dalam ruangan.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan di MinaGot Sumbar, Laboratorium Kualitas Udara dan Laboratorium Air Departemen Teknik Lingkungan Universitas Andalas; Laboratorium Non Ruminansia Fakultas Peternakan Universitas Andalas; dan Laboratorium Penelitian PT Semen Padang;
2. Sampah organik yang digunakan untuk budi daya BSF yaitu sampah organik sisa rumah makan di sekitar Kecamatan Kuranji;
3. Analisis WRI dilakukan pada skala laboratorium menggunakan *biopond* dengan dimensi 40 cm × 31 cm × 15 cm dengan pemberian pakan sebanyak 100 gram pada minggu pertama dan 300 gram pada minggu kedua;
4. Perhitungan nilai WRI menggunakan persamaan Diener 2009;
5. Nilai WRI digunakan untuk analisis gas metana yang dihasilkan oleh TPA jika dilakukan pengolahan awal sampah organik oleh larva BSF;
6. Analisis reduksi gas metana menggunakan metode pemodelan Intergovernmental Panel Climate Change (IPCC) *Guidelines* 2006;
7. Biomassa yang digunakan sebagai bahan bakar yaitu limbah budi daya BSF berupa bangkai dan kerabang BSF yang telah dikonversi menjadi briket arang;
8. Briket arang menggunakan perekat tepung kanji dengan dua perlakuan yaitu persentase 10% dan persentase 15% dari total massa bahan briket arang;
9. Briket arang dicetak menggunakan alat kempa briket manual;
10. Analisis kualitas briket arang menggunakan metode *proximate analysis* dengan

parameter kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, kadar karbon terikat, kerapatan, dan nilai kalor yang dilakukan sesuai standar SNI 06-3730-1995 Tentang Arang Aktif Teknis dan SNI 01-6235-2000 Tentang Briket Arang Kayu;

11. Hasil analisis kualitas briket arang dibandingkan dengan baku mutu pada SNI 06-3730-1995 dan SNI 01-6235-2000;
12. Briket terbaik dipilih berdasarkan hasil perbandingan dengan baku mutu untuk dilanjutkan ke tahap analisis laju konsumsi bahan bakar dan analisis kualitas udara di dalam ruangan;
13. Analisis laju konsumsi bahan bakar briket arang menggunakan metode *Water Boiling Test (WBT)*;
14. Kompor biomassa yang digunakan yaitu kompor biomassa Sawir generasi kedua;
15. Pengukuran CO dan CO₂ menggunakan *Portable Air Quality Monitor (PAQM)*;
16. Pengukuran konsentrasi PM_{2,5} menggunakan alat *Low Volume Air Sampler (LVAS)*;
17. Hasil analisis kualitas udara di dalam ruangan akibat pembakaran briket arang untuk parameter CO, CO₂, dan PM_{2,5} dibandingkan dengan baku mutu pada Peraturan Menteri Kesehatan No. 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruang Rumah.

1.5 Sistematika Penulisan

Berikut sistematika penulisan tugas akhir ini.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi landasan teori, baik literatur maupun penelitian-penelitian terkait yang berkaitan serta mendukung penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Landasan teori yang dibahas pada bab ini terdiri dari budi daya BSF dan WRI; gas metana;

biomassa, briket arang, dan kompor biomassa sawir; kualitas udara di dalam ruangan; serta metode sampling dan metode analisis yang akan digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai tahapan penelitian yang dilakukan, waktu dan tempat penelitian, metode sampling, dan metode analisis di laboratorium.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan hasil penelitian disertai dengan pembahasan hasil penelitian tersebut. Pembahasan pada Tugas Akhir ini mengenai WRI dan perhitungan reduksi gas metana; kualitas briket arang; serta kualitas udara di dalam ruangan saat pembakaran briket arang untuk parameter gas CO, gas CO₂, dan PM_{2,5}.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan simpulan dan saran berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Black Soldier Fly* (BSF)

2.1.1 Siklus Hidup BSF

Black Soldier Fly (BSF, *Hermetia illucens*) merupakan spesies lalat yang berbeda dengan lalat rumah atau lalat yang umum dikenal. BSF banyak ditemukan di daerah seperti kandang ternak dan tumpukan limbah organik, karena larva BSF memiliki kemampuan untuk mengonsumsi bahan organik. Kemampuan larva BSF dalam mengolah bahan organik ini dapat dimanfaatkan untuk mengurangi kotoran ternak dan sampah organik yang tidak terolah (Sastro, 2016).

Tahap perkembangan *H. illucens* dimulai dari telur, larva, pupa, dan lalat dewasa. BSF bertelur di daerah kering dekat organisme basah dan membusuk. Faktor lingkungan utama yang memengaruhi reproduksi BSF yaitu temperatur, kelembapan, dan intensitas cahaya. Inkubasi telur BSF bervariasi tergantung musim, wilayah, temperatur, dan biasanya memakan waktu 4-14 hari. Fase larva terdiri dari enam instar, dengan ukuran larva dewasa berkisar antara 1,8 mm sampai 20 mm. Larva BSF mulai makan segera setelah menetas, dan konsumsi makanan akan bertambah secara signifikan setelah instar ketiga. Larva akan berhenti makan dan memulai fase pupa pada instar keenam, dan setelah itu menjadi lalat dewasa (Zahro, *et al.*, 2021). Terdapat beberapa literatur yang menyebutkan jumlah telur yang dapat diproduksi oleh lalat betina BSF normal, lebih jelasnya dapat dilihat pada **Tabel 2.1** berikut.

Tabel 2.1 Produksi Telur oleh BSF Betina

Jumlah Telur	Satuan	Sumber
900	Telur/betina	Liu, <i>et al.</i> (2019)
400-800		Dortmans, <i>et al.</i> (2017)
185-1.235		Rachmawati, <i>et al.</i> (2010), dalam Wardhana (2016)
546-1.505		Tomberlin & Sheppard (2002) dalam Wardhana (2016)

2.1.2 Manfaat Budi Daya BSF

Pemanfaatan BSF untuk mengelola sampah organik diperkenalkan pada tahun 1990-an. Pemanfaatan larva BSF untuk mengelola sampah organik memiliki keuntungan bagi negara berkembang karena metodenya yang sederhana dan

terjangkau serta hasil yang dapat dipercaya (Rahmi, *et al.*, 2019). Penelitian-penelitian terdahulu telah memperlihatkan kemampuan larva BSF dalam mengonversi sampah organik menjadi biomassa yang memiliki kandungan protein dan asam lemak. Biomassa tersebut dapat digunakan sebagai pengganti makanan ikan dan hewan ternak, sumber dari *biofuel*, dan gula untuk pembuatan *bioethanol* (Manurung, *et al.*, 2016). Keuntungan yang dapat diperoleh dari budi daya BSF yaitu (Sipayung, 2015):

1. Larva BSF dapat mendegradasi sampah organik sebagai sumber nutrisi untuk pertumbuhan larva BSF tersebut;
2. Sampah organik dikonversi menjadi kompos dengan kandungan penyubur tinggi;
3. Bau dan hama terkontrol, serta dapat mengurangi emisi GRK yang muncul saat dekomposisi sampah;
4. Tubuh larva BSF yang mengandung zat kitin dan protein yang cukup tinggi sehingga larva BSF dapat dijadikan sebagai pakan ternak;
5. Larva juga dapat dijadikan sebagai bahan *biofuel* dikarenakan kandungan lemak yang tinggi pada tubuhnya.

2.1.3 Reduksi Sampah Oleh Larva BSF dan *Waste Reduction Index* (WRI)

Pola makan larva BSF, kadar air dalam makanan BSF, ketersediaan cahaya, dan ketersediaan BSF merupakan faktor-faktor yang memengaruhi proses reduksi sampah dengan BSF (Mahardika, 2016). Nilai degradasi sampah organik oleh BSF berbeda-beda tergantung dari jenis sampahnya (Pathiassana, *et al.*, 2020). Larva BSF mampu aktif menguraikan makanan dalam waktu 21-24 hari sesuai dengan temperatur lingkungan, jika temperatur lingkungan semakin rendah maka akan semakin lama waktu yang dibutuhkan larva BSF untuk melakukan penguraian (Fahmi, 2018 dalam Zahro, *et al.*, 2021).

Kadar air optimum untuk makanan yang diberikan pada larva BSF adalah antara 60-90%, jika kadar air pada makanan rendah maka proses pencernaan larva akan terhambat, sementara itu jika kadar air pada makanan terlalu tinggi maka larva akan cenderung keluar dari reaktor (Sipayung, 2015). Pada kondisi ideal, larva BSF dapat matang atau memasuki fase pupa dalam waktu 2 minggu, namun pada kondisi

temperatur rendah dan kurang pasokan makanan maka waktu kematangan larva bisa mencapai 4 bulan. (Diener S., 2010).

Indeks pengurangan sampah atau *Waste Reduction Index* (WRI) merupakan nilai yang menunjukkan tingkat pengurangan sampah pada periode tertentu. Tinggi rendahnya nilai WRI yang didapat menunjukkan kemampuan larva BSF dalam mereduksi suatu jenis sampah. Nilai WRI dipengaruhi oleh tingkat degradasi sampah dan waktu yang dibutuhkan untuk mendegradasi sampah (Zahro, *et al.*, 2021). Nilai WRI dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Diener, *et al.*, 2009):

$$D = \frac{(W - R)}{W} \dots\dots\dots (2.1)$$

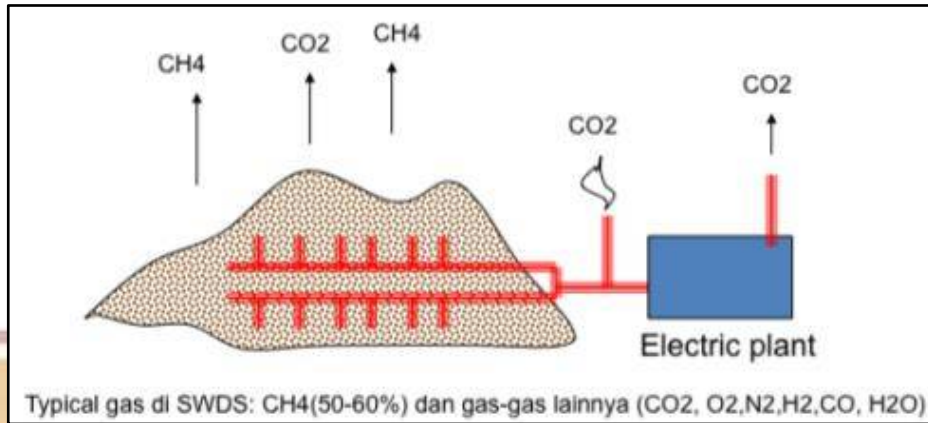
$$WRI = \frac{D}{t} \times 100 \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

- WRI = *Waste Reduction Index* (indeks reduksi sampah) (%/hari)
- W = Jumlah sampah awal (g)
- t = Waktu yang diperlukan untuk mendegradasi sampah (hari)
- R = Jumlah Residu sampah (g)
- D = Tingkat degradasi sampah

2.2 Gas Metana (CH₄)

Gas metana sebagai GRK umumnya berasal dari proses penguraian anaerobik komponen-komponen DOC (*degradable organic carbon compound*) dalam sampah. Secara teoritis, setiap kilogram sampah dapat memproduksi 0,5 m³ gas metana. Gas metana yang dihasilkan oleh timbunan sampah organik di TPA akan menimbulkan efek GRK yang 20-30 kali lebih besar jika dibandingkan dengan efek yang ditimbulkan oleh gas CO₂ dan berkontribusi sebesar 15% pada pemanasan global (Artiningrum, 2017). Pembentukan GRK dari tumpukan sampah kota secara umum dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Proses Pembentukan GRK dari Tumpukan Sampah di TPA

Sumber: Artiningrum (2017)

Terdapat tiga tingkat ketelitian, yang biasa dikenal dengan istilah *tier*, dalam melakukan perhitungan emisi GRK termasuk gas metana, yaitu (Menteri Lingkungan Hidup, 2012):

1. *Tier 1*, metode perhitungan emisi dan serapan dengan persamaan dasar, menggunakan faktor emisi *default* atau *default values* yang terdapat dalam *IPCC guidelines*, dan data aktivitas yang digunakan bersumber dari data global;
2. *Tier 2*, metode perhitungan emisi dan serapan menggunakan persamaan yang lebih rinci, seperti menggunakan persamaan reaksi, menggunakan faktor emisi lokal yang diperoleh dari pengukuran secara langsung, dan data aktivitas berasal dari data nasional dan/atau daerah;
3. *Tier 3*, metode perhitungan emisi dan serapan menggunakan metode paling rinci, yaitu dengan pendekatan *modeling* dan *sampling*, sehingga faktor emisi lokal dapat divariasikan sesuai keberagaman kondisi yang ada, yang menyebabkan tingkat kesalahan lebih rendah.

Metodologi IPCC untuk mengestimasi emisi metana dari TPA didasarkan pada metode *First Order Decay* (FOD). Metode ini mengasumsikan bahwa komponen organik yang dapat terdegradasi atau *Degradable Organic Carbon* (DOC) dalam limbah meluruh secara perlahan selama beberapa dekade, di mana metana dan CO₂ terbentuk. Jika dalam kondisi kontinu, maka laju produksi metana hanya bergantung pada jumlah karbon yang tersisa dalam limbah. Akibatnya emisi metana dari limbah yang disimpan di TPA dalam beberapa tahun pertama setelah pengendapan merupakan emisi metana tertinggi, kemudian secara bertahap menurun karena karbon yang dapat terdegradasi dalam limbah dikonsumsi oleh

bakteri yang bertanggung jawab atas pembusukan limbah. Emisi gas metana dapat dihitung dengan persamaan-persamaan berikut (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006).

$$\text{DDOC}_m \text{ Terdeposit} = R \times \text{DOC} \times \text{DOC}_f \times \text{MCF} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\text{DDOC}_m \text{ Terdekomposisi} = \text{DDOC}_m \text{ terdeposit} \times (1 - e^{-k}) \dots\dots\dots (2.4)$$

$$L_o = \text{DDOC}_m \text{ terdekomposisi} \times F \times \left(\frac{16}{12}\right) \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\text{CH}_4 \text{ pada tahun T (Gg)} = [L_{oT} - R_T] \times (1 - \text{OX}) \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

DDOC_m = *Decomposable DOC*, massa DOC yang bisa terdekomposisi (Gg)

DOC = *Degradable Organic Carbon*, komponen C organik yang dapat terdekomposisi (0,15 untuk sampah makanan)

DOC_f = Nilai fraksi DOC yang dapat terdekomposisi (0,5)

MCF = *Methane Correction Factor* (0,5 sesuai kondisi TPA Aie Dingin, Kota Padang)

R = Massa Sampah Akhir/Residu (Gg)

k = *Methane generation rate*, tingkat generasi metana ($k = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}}$)

$t_{1/2}$ = Waktu paruh

L_o = Potensi gas metana yang terbentuk (Gg)

F = Nilai fraksi terbentuknya CH_4 (0,5)

OX = Faktor oksidasi (0,1 sesuai kondisi TPA Aie Dingin, Kota Padang)

R_T = Gas metana yang dipulihkan (Gg) (0 sesuai kondisi TPA Aie Dingin, Kota Padang)

$\frac{16}{12}$ = Rasio berat molekul $\frac{\text{CH}_4}{\text{C}}$

Degradable Organic Carbon (DOC) merupakan karbon organik dalam limbah yang dapat mengalami dekomposisi biokimia yang dinyatakan dalam Gg C per Gg limbah. Nilai *default* DOC berdasarkan kategori sampah dapat dilihat pada **Tabel 2.2**. DOC_f merupakan perkiraan fraksi karbon yang terdegradasi dan dilepaskan dari TPA dan merupakan cerminan dari fakta bahwa tidak semua DOC akan terdegradasi dalam kondisi anaerobik di TPA, atau degradasi akan terjadi dalam waktu sangat lama. Nilai *default* untuk DOC_f direkomendasikan sebesar 0,5 dengan asumsi bahwa keadaan lingkungan TPA adalah anaerobik (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006).

Tabel 2.2 Nilai Default DOC

Kategori Sampah	Nilai DOC (%)
Sampah makanan	15
Sampah halaman	20
Kertas	40
Kayu	43
Tekstil	24
Popok sekali pakai	24

Sumber: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006

Nilai waktu paruh ($t_{1/2}$) merupakan waktu yang dibutuhkan oleh $DDOC_m$ dalam limbah untuk membusuk menjadi setengah dari massa awalnya. Nilai waktu paruh ini berhubungan dengan tingkat generasi metana atau konstanta k , dengan hubungan yaitu $k = \ln(2) / t_{1/2}$. Waktu paruh dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti komposisi sampah, kondisi iklim di TPA, karakteristik TPA, praktik pembuangan sampah, dan sebagainya. Nilai *default* waktu paruh pada iklim tropis yang lembab dan basah (rata-rata temperatur tahunan $>20^\circ\text{C}$) adalah 2 untuk jenis sampah yang cepat terdegradasi, seperti sampah makanan atau lumpur limbah (*sewage sludge*). Faktor oksidasi (OX) mencerminkan jumlah metana dari TPA yang teroksidasi di dalam tanah atau bahan lain yang menutupi sampah, nilai OX dapat dilihat pada **Tabel 2.3** (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006).

Tabel 2.3 Faktor Oksidasi untuk TPA

Kategori TPA	Nilai Default OX
TPA yang dikelola ¹ , yang tidak dikelola, dan yang tidak terkategori	0
TPA yang dikelola dan ditutupi dengan bahan pengoksidasi CH_4 ²	0,1

Keterangan: 1 = Dikelola namun tidak ditutupi dengan material aerasi
2 = Contoh bahan: Tanah, kompos

Sumber: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006

Nilai fraksi terbentuknya metana atau nilai F direkomendasikan sebesar 0,5. Hal ini dikarenakan sebagian besar limbah di TPA menghasilkan gas metana sekitar 50% dan hanya bahan yang mengandung sejumlah besar lemak atau minyak yang dapat menghasilkan gas metana lebih besar dari 50%. Gas metana yang dihasilkan oleh TPA dapat dipulihkan dan dibakar dalam suatu perangkat energi. Banyaknya gas metana yang dapat dipulihkan diekspresikan sebagai R_T . Nilai *default* dari R_T adalah 0. Nilai pemulihan gas metana harus dilaporkan hanya jika tersedia referensi yang mendokumentasikan jumlah pemulihan gas metana tersebut. *Methane Correction Factor* (MCF) merupakan faktor koreksi yang dikategorikan

berdasarkan pengelolaan sampah pada suatu TPA yang dibagi berdasarkan empat kategori, lebih jelasnya dapat dilihat pada **Tabel 2.4** (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006).

Tabel 2.4 Klasifikasi TPA dan Nilai MCF

No.	Kategori TPA	Nilai MCF
1.	Dikelola – Anaerobik ¹	1,0
2.	Dikelola – Semi-aerobik ²	0,5
3.	Tidak dikelola ³ – dalam (>5 m limbah) dan/atau muka air tanah tinggi	0,8
4.	Tidak dikelola ⁴ – dangkal (<5 m limbah)	0,4
5.	TPA kategori lain ⁵	0,6

Keterangan:

¹ TPA jenis ini memiliki penempatan limbah yang terkendali (limbah diarahkan ke area pengendapan tertentu, mempunyai pengendalian pemulungan, dan mempunyai pengendalian kebakaran) dan akan mencakup setidaknya salah satu dari: (i) bahan penutup; (ii) pemadatan mekanis; atau (iii) meratakan sampah.

² TPA jenis ini memiliki penempatan limbah yang terkendali dan akan mencakup semua struktur berikut untuk memasukkan udara ke lapisan limbah: (i) bahan penutup yang permeabel; (ii) sistem drainase lindi; (iii) mengatur kolam; dan (iv) sistem ventilasi gas.

³ TPA yang tidak memenuhi kriteria 1 dan 2, memiliki kedalaman ≥ 5 meter dan/atau tinggi muka air tanah di dekat permukaan tanah (seperti kolam, sungai, atau lahan basah oleh limbah).

⁴ TPA yang tidak memenuhi kriteria 1 dan 2 dan memiliki kedalaman kurang dari 5 meter.

⁵ TPA yang tidak masuk ke dalam kategori 1-4.

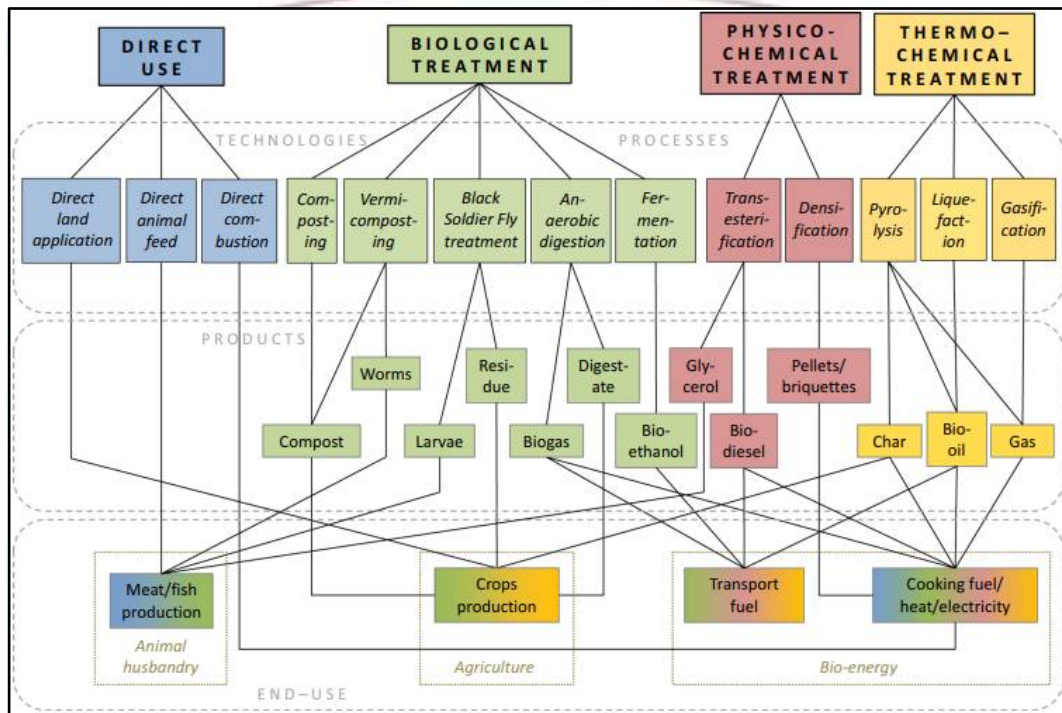
Sumber: *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006*

2.3 Limbah BSF sebagai Biomassa

Biomassa merujuk kepada semua material organik yang terdapat di biosfer, baik yang berasal dari tumbuhan maupun hewan (Moreno, *et al.*, 2019). Biomassa sebagai sumber energi terbarukan yaitu merupakan segala bahan biologis yang dapat digunakan untuk memproduksi panas dan/atau tenaga, sehingga dapat dikonversi menjadi bahan bakar transportasi maupun pengganti produk dan material yang berasal dari fosil (Abimanyu & Hendrana, 2014). Biomassa dapat dikonversi menggunakan berbagai metode untuk menghasilkan tiga jenis bioenergi, yaitu energi panas, energi listrik, dan energi bahan bakar transportasi. Energi listrik dan panas dihasilkan melalui pembakaran biomassa padat atau biogas dimulai dari skala domestik menggunakan kompor hingga skala industri seperti pembangkit listrik dan pemanas industri (Bourguignon, 2015).

Teknologi pengolahan limbah di perkotaan dapat dikelompokkan seperti **Gambar 2.2**. Pengolahan limbah organik menggunakan BSF merupakan teknologi baru dalam pengolahan sampah organik. Pengolahan limbah organik oleh BSF ini menghasilkan produk utama berupa larva dan residu. Larva BSF dapat

dimanfaatkan sebagai pengganti pakan hewan ternak dan ikan. Selain itu, larva BSF juga dapat diolah menjadi biodiesel atau dapat dimanfaatkan kandungan kitin dan lemaknya. Selanjutnya, produk berupa residu dari teknologi BSF ini dapat dimanfaatkan sebagai peningkatan mutu tanah. Residu BSF juga memiliki potensi untuk dapat diubah menjadi *char*/arang (Lohri, *et al.*, 2017).



Gambar 2.2 Teknologi Pengolahan Limbah di Perkotaan

Sumber: Lohri, *et al.* (2017)

2.4 Konversi dan Pemanfaatan Energi Biomassa

Terdapat tiga jenis konversi biomassa, yaitu (The Japan Institute of Energy, 2008):

1. Konversi fisis biomassa, yaitu:
 - a. Kayu bakar, merupakan biomassa konvensional yang digunakan dalam berbagai keperluan sehari-hari seperti pembakaran dan pengeringan;
 - b. Pemeletan dan pembriketan, merupakan proses pemadatan bahan menjadi bentuk pelet dan biobriket (bahan bakar komposit batu bara dan biomassa). Pelet memiliki diameter 6-12 mm dan memiliki panjang 10-25 mm. Biobriket memiliki diameter 50-80 mm dan memiliki panjang 300 mm;
 - c. Produksi papan partikel, dianggap sebagai teknologi daur ulang sumber biomassa kayu dikarenakan menggunakan limbah hasil produksi kayu dan limbah pertanian.

2. Konversi termokimia biomassa, yaitu:
 - a. Pembakaran, merupakan penggunaan biomassa yang paling mudah untuk mendapatkan panas karena pengaplikasian yang mirip dengan teknologi untuk pembakaran bahan bakar fosil;
 - b. Gasifikasi, merupakan proses konversi bahan baku biomassa menjadi bahan bakar gas atau bahan baku gas kimia yang diklasifikasikan berdasarkan kombinasi faktor kondisional;
 - c. Pirolisis, merupakan proses konversi bahan baku biomassa menggunakan panas melebihi 150°C (bisa mencapai 600°C), sehingga menghasilkan residu padat berupa arang, residu gas yaitu CO_2 , CO , H_2 , CH_4 , dan hidrokarbon ringan, serta residu cair yang berupa campuran air dan bahan organik polar seperti metanol;
 - d. Karbonisasi, merupakan teknologi untuk memperoleh arang dengan cara memanaskan biomassa padat pada temperatur $400\text{--}600^{\circ}\text{C}$, pada kondisi hampir tidak ada atau sama sekali tidak ada udara atau oksigen. Reaksi karbonisasi pada dasarnya sama dengan reaksi pirolisis;
 - e. Gasifikasi hidrotermal, merupakan perlakuan terhadap biomassa dalam air panas terkompresi, biasanya di atas 350°C dan di atas 20 MPa untuk mendapatkan gas yang mudah terbakar;
 - f. Pencairan hidrotermal, merupakan pirolisis dalam air panas terkompresi sekitar 300°C dan 10 MPa.
3. Konversi biokimia biomassa, yaitu:
 - a. Biometanasi, merupakan proses mikroba kompleks untuk mendegradasi senyawa organik menjadi metana dan karbon dioksida (biogas);
 - b. Fermentasi etanol, proses konversi biomassa menjadi bahan bakar etanol;
 - c. Pengomposan, merupakan proses penguraian bahan organik *biodegradable* seperti jerami, sekam padi, dan limbah hewan dengan menggunakan bakteri aerobik dalam bahan dan panas dari dekomposisi.

Pemanfaatan energi biomassa adalah sebagai berikut (Parinduri & Parinduri, 2020).

1. Biobriket, merupakan hasil dari konversi bahan baku biomassa ke bentuk biomassa lain dengan memadatkan dan membuat bentuknya lebih teratur, seperti bentuk silinder;

2. Gasifikasi, hasil konversi biomassa saat proses gasifikasi ini dapat digunakan sebagai bahan bakar motor penggerak generator pembangkit listrik;
3. Pirolisis dan karbonisasi, kedua proses ini dapat mengonversi biomassa menjadi arang yang dapat dijadikan bahan baku untuk pembuatan briket arang;
4. Densifikasi, peningkatan manfaat biomassa dengan memadatkan biomassa tersebut, yaitu dengan membentuk pelet dan briket.

2.5 Briket Arang

Briket arang adalah bahan bakar padat yang mengandung karbon, dapat menyala dalam waktu lama, dan memiliki nilai kalor tinggi. Briket arang umumnya terbuat dari batu bara maupun campuran batu bara dan biomassa. Briket bioarang merupakan briket yang sepenuhnya terbuat dari arang hasil pembakaran biomassa secara pirolisis. Briket bioarang memiliki beberapa kelebihan, yaitu (Isa, *et al.*, 2012):

1. Panas yang dihasilkan oleh briket bioarang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kayu biasa (dapat mencapai 5.000 kalori);
2. Tidak menimbulkan asap maupun bau dan jika sudah terbakar (menjadi bara) maka akan menyala dalam waktu lama, sehingga aman dan praktis bagi masyarakat yang tinggal pada rumah dengan ventilasi kurang memadai;
3. Tidak memerlukan bahan kimia lain dan peralatan untuk membuat briket bioarang dapat dibentuk sesuai kebutuhan sehingga teknologi pembuatan briket bioarang cukup sederhana.

2.5.1 Teknologi Pengarangan Biomassa

Teknologi pengarangan telah dikembangkan dengan berbagai cara, beberapa diantaranya yaitu dengan menyempurnakan teknik peralatan pembakaran dan dengan mengubah sifat dari bahan bakar tersebut guna mempermudah pemakaiannya. Terdapat beberapa jenis peralatan yang telah disempurnakan untuk pembuatan arang, yaitu (Hendra, 2007):

1. Tungku drum hasil modifikasi, terbuat dari drum bekas pakai yang dibagi menjadi empat bagian yaitu badan drum (salah satu ujung dibuka), cerobong asap, tutup *kiln* atas, dan lubang-lubang udara pada bagian bawah drum;

2. Tungku tradisional modifikasi, tungku tradisional dilengkapi dengan beberapa fitur seperti jalur selokan yang dihubungkan dengan cerobong asap untuk menyalurkan asap dan penangkap asap cair sederhana dan ramah lingkungan;
3. Tungku semi kontinu, terbuat dari logam, berfungsi untuk membuat arang dari serbuk gergaji kayu;
4. Tungku model bak skala industri, terbuat dari bata merah, dilengkapi dengan sirkulasi udara, cerobong asap, dan ruang penarik asap, juga berfungsi untuk membuat arang dari serbuk gergaji kayu.

Selain teknologi konvensional, saat ini teknologi pengarangan biomassa menggunakan proses pirolisis. Pirolisis merupakan proses dekomposisi bahan pada temperatur tinggi tanpa udara atau dengan udara yang terbatas. Proses pirolisis menghasilkan beberapa produk, produk bahan bakar padat berupa karbon (*charcoal*/arang), produk cairan berupa campuran tar dan beberapa zat lain, dan produk gas berupa karbon dioksida (CO_2), gas metana (CH_4), dan gas lain dengan kandungan kecil. Proses pirolisis umumnya berlangsung selama 4-7 jam dengan temperatur di atas 300°C , dan prosesnya sangat tergantung terhadap bahan baku dan cara pembuatannya (Ridhuan & Suranto, 2016).

2.5.2 Teknologi dan Mekanisme Pembuatan Briket Arang

Proses pengarangan dapat meningkatkan nilai kalor bakar bahan seperti kayu. Teknologi pembuatan briket arang dapat menggunakan sistem kempa hidrolik secara manual dan semi masinal. Proses pembuatan briket arang untuk mendapatkan kualitas briket arang yang baik yaitu (Hendra, 2007):

1. Pengeringan bahan baku hingga kadar air berkurang dari 15-30% menjadi $<15\%$;
2. Pengarangan bahan baku;
3. Penyaringan, dilakukan dengan ayakan ukuran 40 mesh;
4. Serbuk arang kemudian dicampur dengan perekat seperti tepung kanji;
5. Campuran arang dan perekat kemudian dimasukkan ke dalam cetakan briket dan dikempa;
6. Briket dikeringkan menggunakan oven pada temperatur 60°C selama 24 jam atau dijemur dengan sinar matahari selama 2-3 hari.

Jenis mekanisme dasar alat kempa briket adalah sebagai berikut (Mardika, *et al.*, 2015).

1. Tipe ulir, menggunakan mekanisme ulir Archimedes untuk menekan briket;
2. Tipe *stamping*, menggunakan mekanisme menekan tuas untuk memadatkan bahan baku briket;
3. Tipe hidrolis, mesin kempa briket yang bekerja dengan sistem hidrolis.

Mekanisme dalam pembuatan briket arang adalah sebagai berikut (Suhartoyo & Sriyanto, 2017).

1. Persiapan bahan baku, yaitu pengeringan bahan baku melalui oven atau sinar matahari untuk mengurangi kandungan air atau kadar air pada biomassa;
2. Pengarangan/karbonisasi, yaitu pemanasan bahan baku yang telah disiapkan dalam ruangan tanpa udara pada temperatur 300°C;
3. Penghalusan/*crusher*, setelah di karbonisasi, bahan baku kemudian dihaluskan, tingkat kehalusan serbuk arang akan memengaruhi ketahanan tekan dan kerapatan dari briket arang;
4. Pemisahan dengan ayakan, menggunakan ayakan lolos *mesh* 40 dan tertahan pada *mesh* 60 agar ukuran partikel arang seragam;
5. Pencampuran serbuk arang dengan bahan perekat, umumnya menggunakan perekat dari tar/aspal, tetes tebu, dan tepung kanji;
6. Pencetakan/pengempaan serbuk arang dilakukan dengan alat kempa briket;
7. Pengeringan briket.

2.5.3 Tepung Kanji Sebagai Perekat Briket Arang

Pembuatan briket arang biasanya ditambahkan perekat agar partikel dari material yaitu arang dapat saling terikat dan tidak mudah hancur. Pati kanji mempunyai sifat yang menguntungkan sebagai bahan perekat, yaitu memiliki daya rekat tinggi, kemurnian larutan tinggi, dan kekuatan gel yang baik (Amin, 2017). Perekat organik seperti kanji umumnya menghasilkan abu yang relatif sedikit setelah pembakaran bahan bakar. Perekat kanji memiliki beberapa keuntungan, diantaranya harga terjangkau, pemakaian yang mudah, dan menghasilkan kekuatan rekat kering yang tinggi (Amin, *et al.*, 2017). Berdasarkan penelitian Sudding dan Jamaluddin (2015), semakin tinggi kadar kanji, maka perlekatan antara partikel-partikel arang

akan semakin kuat dan meningkatkan keutuhan briket. Kerapatan briket akan berpengaruh pada mudah atau tidaknya briket terbakar dan akan berpengaruh juga terhadap jumlah energi pembakaran dari briket, semakin rapat maka semakin mudah briket terbakar dan semakin besar energi pembakaran dari briket tersebut.

2.6 Kualitas Udara di Dalam Ruangan

Kualitas udara di dalam ruang rumah dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya yaitu bahan bangunan seperti asbes, struktur bangunan seperti ventilasi, bahan pelapis untuk furnitur serta interior, kualitas udara luar rumah (*ambient air quality*), kepadatan hunian, radiasi dari Radon (Rd), formaldehid, debu, dan kelembaban yang berlebihan. Selain hal-hal tersebut, kegiatan dalam rumah seperti penggunaan energi yang tidak ramah lingkungan, penggunaan sumber energi yang relatif murah seperti batu bara dan biomassa (kayu, kotoran kering dari hewan ternak, dan residu pertanian), dan sebagainya juga memengaruhi kualitas udara di dalam ruang rumah. Bahan-bahan kimia tersebut dapat mengeluarkan polutan yang dapat bertahan dalam rumah untuk jangka waktu yang cukup lama (PERMENKES RI No. 1077/MENKES/PER/V/2011).

Polutan udara dalam ruang umumnya terdiri dari produk hasil pembakaran, produk kimia, radon, dan agen biologis. Penumpukan polutan dalam konsentrasi tinggi akibat sumber emisi dan ventilasi yang tidak memadai merupakan masalah utama dari polusi udara di dalam ruangan. Polutan udara dalam ruangan utamanya dipancarkan langsung dari berbagai sumber dalam ruangan seperti kompor, pemanas, merokok tembakau, bahan bangunan, dan bahan kimia pengendali hama. Selain itu polutan dalam ruangan dapat juga berasal dari luar ruangan, seperti polutan yang masuk dari sistem ventilasi yang kurang baik, polutan gas tanah yang berasal dari ruang bawah tanah, dan sebagainya. Beberapa polutan udara di dalam ruangan yaitu gas CO, gas CO₂, dan partikel yang dapat dihirup (umumnya berasal dari kompor yang tidak berventilasi; pemanas ruangan; asap rokok tembakau; pembakaran bahan bakar di kompor, pemanas ruangan) (Wang, *et al.*, 2005).

2.6.1 Gas Karbon Monoksida (CO)

Gas CO merupakan gas yang tidak memiliki bau, warna, dan rasa. Gas ini berbahaya jika konsentrasinya tinggi. Gas karbon monoksida merupakan hasil

pembakaran yang tidak sempurna sebuah bahan bakar, yang terbentuk akibat kurangnya oksigen dalam proses pembakaran tersebut (Setyawan & Rosiana, 2019). Daya ikat dari gas CO 200-240 kali lebih erat dibandingkan dengan daya ikat oksigen terhadap darah merah, sehingga jika terpapar cukup lama dan dalam jumlah besar maka gas oksigen akan terhambat masuk ke dalam tubuh (berkompetisi dengan gas CO). Gas CO merupakan emisi dari pembakaran briket batu bara dan berdasarkan Surat Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Indonesia SE-01-MENAKERTRANS/1997, nilai ambang batas untuk emisi CO di tempat kerja yaitu sebesar 25 mg/Nm³ atau 25 ppm (Lystia, 2008). Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 1077/MENKES/PER/V/2011, dampak karbon monoksida jika di atas nilai ambang batas di dalam ruangan adalah sebagai berikut.

1. Menyebabkan kegagalan transportasi O₂ ke jaringan sehingga terjadi *anoksia* jaringan dan menyebabkan gangguan sistem syaraf pusat seperti penurunan daya ingat, kematian janin bagi ibu hamil, dan gangguan kardiovaskular;
2. Gejala yang muncul antara lain pusing, mual, gelisah, sesak napas, pucat, sakit dada, kemudian tidak sadarkan diri, kegagalan pernapasan, dan kematian.

2.6.2 Gas Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon dioksida (CO₂) merupakan material yang tersusun dari satu atom karbon (C) dan dua atom oksigen (O₂), dan merupakan salah satu gas penyusun lapisan atmosfer bumi. Konsentrasi gas CO₂ di atmosfer terus meningkat setiap tahunnya karena dipengaruhi oleh aktivitas manusia, terutama melalui pembakaran bahan bakar fosil, gas alam, dan minyak bumi. Gas CO₂ dapat juga dihasilkan oleh proses alami seperti proses pembusukan dan respirasi, pembakaran biomassa melalui kebakaran hutan dan padang rumput, dan pembebasan CO₂ yang terjadi di lautan secara alami (Subkhan, 2017). Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 1077/MENKES/PER/V/2011, dampak karbon dioksida jika di atas nilai ambang batas di dalam ruangan adalah sebagai berikut.

1. Dapat menyebabkan kantuk, penurunan aktivitas fisik, dan sakit kepala;
2. Pada konsentrasi 30.000 ppm (3%), maka sifatnya menjadi narkotik ringan dan menyebabkan gangguan pendengaran dan peningkatan tekanan darah;
3. Pada konsentrasi 50.000 ppm (5%), terjadi kesulitan pernapasan diikuti dengan sakit kepala;

4. Pada konsentrasi 80.000 ppm (>8%), menyebabkan sakit kepala, berkeringat terus-menerus, tremor, dan kehilangan kesadaran setelah paparan selama 5-10 menit.

2.6.3 Particulate Matter 2,5 (PM_{2,5})

Particulate matter 2,5 merupakan partikel dengan diameter aerodinamik lebih kecil dari 2,5 µm. Semakin kecil ukuran diameter partikel debu akan semakin berbahaya karena dapat terhirup dan masuk ke dalam saluran pernapasan bagian bronkiolus dan alveolus. Debu partikulat adalah satu dari enam polutan paling berbahaya. Debu umumnya berasal dari gabungan secara mekanik dan material yang berukuran kasar yang melayang di udara dan bersifat toksik bagi manusia (Kurnia & Keman, 2014). Sumber utama dari PM_{2,5} yaitu dari lalu lintas dan industri, seperti pembakaran bahan bakar untuk pembangkit listrik dan kilang minyak atau emisi rem mobil. Berdasarkan berbagai penelitian epidemiologi PM_{2,5} dianggap sebagai penyebab utama efek kardiovaskular dari polusi udara terhadap kesehatan manusia (Eskawiyanti, 2018). Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 1077/MENKES/PER/V/2011, dampak PM_{2,5} jika di atas nilai ambang batas di dalam ruangan adalah sebagai berikut.

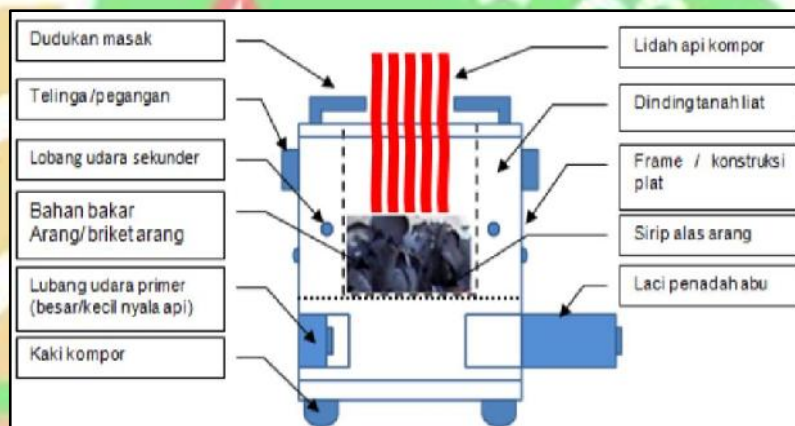
1. Dapat menyebabkan pneumonia, gangguan sistem pernapasan, alergi, iritasi mata, dan *bronchitis* kronis;
2. Jika telah masuk ke dalam paru-paru maka dapat menyebabkan emfisema paru, asma *bronchial*, kanker paru-paru, serta gangguan kardiovaskular.

2.7 Kompor Biomassa Sawir

Teknologi kompor biomassa belum tersebar luas pemanfaatannya oleh masyarakat, meskipun dengan kompor biomassa, penggunaan biomassa akan lebih efisien dan sehat. Kompor biomassa yang digunakan dengan baik dapat menghemat penggunaan biomassa untuk kegiatan memasak dan dapat mengurangi polusi udara dalam ruangan secara signifikan (Haryana, 2019). Kompor biomassa sawir merupakan kompor biomassa yang terbuat dari bahan bekas berupa plat yang tidak terpakai sehingga harga relatif murah. Kompor biomassa sawir memiliki bentuk silinder dengan ukuran diameter 25 cm, tinggi 30 cm, ruang bakar dengan ukuran diameter 20 cm, dan telah sesuai kriteria kompor biomassa menurut SNI 7926: 2013

tentang kinerja tungku biomassa. Kompor ini juga ramah lingkungan karena dilengkapi lubang udara sehingga pada saat digunakan tidak mengeluarkan asap (Prima, 2022).

Kompor biomassa sawir yang terbaru adalah kompor biomassa sawir generasi kedua yang dikembangkan pada tahun 2007. Pada kompor biomassa sawir generasi kedua ini telah ada lubang ventilasi primer dan sekunder sehingga pemakaian bahan bakar menjadi lebih sedikit. Namun masih terdapat kekurangan pada kompor sawir generasi kedua ini, yaitu ruang bakar pada kompor cepat keropos akibat tidak dapat memuat panas berlebih pada ruang bakar dan desain dudukan kompor tidak mampu menahan beban kompor (Medio, 2021). Komponen kompor biomassa sawir dapat dilihat pada **Gambar 2.3** berikut.



Gambar 2.3 Komponen Kompor Biomassa Sawir

Sumber: Aristi (2020)

2.8 Pengujian Kualitas Briket Arang

Pengujian kualitas briket dilakukan dengan metode *proximate analysis* yang terdiri dari uji kadar air, uji kadar abu, uji kadar zat terbang, uji kadar karbon terikat, uji kerapatan, dan uji nilai kalor.

2.8.1 Kadar Air (*Moisture Content*)

Kadar air memengaruhi kualitas dari briket yang dihasilkan. Agar nilai kalor tinggi, maka kadar air pada briket diharapkan serendah mungkin, jika kadar air pada briket tinggi, maka energi yang dihasilkan akan habis terserap untuk menguapkan air. Standar kadar air pada briket di setiap negara berbeda, contohnya kadar air di Indonesia 8%, di Jepang 6-8%, di Inggris 3,6% dan di Amerika 6,2% (Amin, 2017).

Kadar air dalam briket juga dapat memengaruhi kualitas briket pada saat penyimpanan. Semakin tinggi kadar air maka semakin besar kemungkinan pertumbuhan mikroorganisme seperti jamur pada briket, pertumbuhan mikroorganisme ini dapat menurunkan kualitas briket (Sugiyati, *et al.*, 2021). Kadar air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Badan Standardisasi Nasional, 1995).

$$(\%) = \frac{BB - BKT}{BB} \times 100\% \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

BB = Massa sampel sebelum dikeringkan dalam oven (g)

BKT = Massa sampel setelah dikeringkan dalam oven (g)

2.8.2 Kadar Abu (*Ash Content*)

Abu merupakan bagian yang tersisa dari pembakaran briket arang (Sugiyati, *et al.*, 2021). Unsur utama dari abu adalah silika yang memiliki pengaruh buruk terhadap nilai kalor yang dihasilkan oleh briket arang (Kahariyadi, *et al.*, 2015). Tingginya kadar abu pada briket dapat mengurangi kualitas briket karena akan terbentuk kerak pada briket sehingga bahan tidak dapat terbakar dan sebagai bahan pengotor (Anizar, *et al.*, 2020). Kadar abu dapat dicari dengan persamaan berikut (Badan Standardisasi Nasional, 1995).

$$(\%) = \frac{\text{Massa Abu}}{\text{Massa Sampel}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

Massa Abu = Massa cawan dan sampel setelah pengeringan – massa cawan kosong (g)

Massa Sampel = Massa cawan dan sampel sebelum pengeringan – massa cawan kosong (g)

2.8.3 Kadar Zat Terbang (*Volatile Matter*)

Zat yang menguap sebagai hasil dari dekomposisi senyawa selain air yang terdapat dalam briket merupakan pengertian dari kadar zat terbang. Tinggi rendahnya kadar zat terbang bisa disebabkan oleh sempurna atau tidaknya proses karbonisasi dan pengaruh dari temperatur dan waktu pada saat proses karbonisasi. Kandungan zat terbang yang tinggi pada briket arang dapat menyebabkan banyaknya asap pada saat penyalaan briket (Kahariyadi, *et al.*, 2015). Kadar zat terbang juga dipengaruhi oleh kadar air, jika kadar air tinggi maka kadar zat terbang juga akan

tinggi. Komposisi campuran bahan baku briket dapat memengaruhi nilai kadar zat terbang briket arang. Kadar zat terbang yang tinggi, dapat menyebabkan asap yang lebih banyak ketika briket arang dinyalakan, dan akan memperburuk kualitas dari briket arang tersebut (Dewi, *et al.*, 2020). Kadar zat terbang dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut (Badan Standardisasi Nasional, 1995).

$$(\%) = \frac{W1 - W2}{W1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

W1 = Massa sampel semula (g)

W2 = Massa sampel setelah dipanaskan dalam *furnace* (g)

2.8.4 Kadar Karbon Terikat (*Fixed Carbon*)

Karbon terikat atau *fixed carbon* merupakan fraksi karbon (C) selain fraksi air, kadar abu, dan kadar zat terbang yang terikat dalam arang (Kahariyadi, *et al.*, 2015). Kadar karbon terikat diperoleh dari penambahan nilai kadar air, kadar abu, dan kadar zat terbang, kemudian dikurangkan dengan 100%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kadar karbon terikat sangat menunjukkan kualitas dari briket yang diuji, semakin tinggi nilai kadar karbon terikat maka semakin bagus pula kualitas briket tersebut (Sugiyati, *et al.*, 2021). Kadar karbon terikat dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut (Badan Standardisasi Nasional, 2014).

$$(\%) = 100 \% - (\text{Kadar air} + \text{Kadar zat terbang} + \text{kadar abu}) \dots\dots\dots (2.10)$$

2.8.5 Kerapatan

Kerapatan merupakan perbandingan antara berat dengan volume. Hal yang memengaruhi kerapatan ialah struktur dari briket arang (Artati, *et al.*, 2012). Tekstur dari bahan baku briket memengaruhi nilai kerapatan, semakin halus bahan baku akan menyebabkan ikatan antar bahan semakin baik dan rongga udara pada briket berkurang sehingga hasil bakar dari briket tersebut maksimal (Kahariyadi, *et al.*, 2015). Nilai kerapatan dapat ditingkatkan dengan meningkatkan daya tekan dan mengurangi kadar air, semakin kuat daya tekan dan semakin kecil kadar air, maka kerapatan briket semakin baik (Satmoko, 2013) Nilai kerapatan dari briket dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut (Badan Standardisasi Nasional, 2014).

$$\text{Kerapatan} = \frac{\text{Massa contoh uji (g)}}{\text{Volume contoh uji (cm}^3\text{)}} \dots\dots\dots (2.11)$$

2.8.6 Nilai Kalor

Nilai kalor bahan bakar merupakan jumlah energi panas maksimal yang dikeluarkan oleh suatu bahan bakar dengan proses pembakaran sempurna persatuan massa atau volume bahan bakar tersebut. Tujuan analisa nilai kalor suatu bahan bakar yaitu untuk mendapatkan data besaran energi kalor yang dapat dihasilkan oleh bahan bakar tersebut melalui reaksi atau proses pembakaran. Nilai kalor bahan bakar terbagi dua, yaitu Nilai Kalor Bawah (*lowest Heating Value*) dan Nilai Kalor Atas (*Highest Heating Value*). Nilai Kalor Bawah (NKB) merupakan kalor yang besarnya sama dengan nilai kalor atas dikurangi kalor yang diperlukan air yang terkandung dalam bahan bakar dan air yang terbentuk dari pembakaran bahan bakar. Nilai Kalor Atas (NKA) yaitu nilai kalor hasil dari pembakaran sempurna satu satuan berat bahan bakar padat atau cair, atau satu satuan volume bahan bakar gas, pada tekanan tetap, apabila semula air yang mula-mula berwujud cair setelah pembakaran mengembun kemudian menjadi cair kembali. Alat yang digunakan untuk mengukur daya kalori dari suatu material adalah *automatic bomb calorimeter*. (Almu, *et al.*, 2014). Nilai kalor dapat dihitung dengan persamaan berikut (Badan Standardisasi Nasional, 2000).

$$\text{Nilai kalor (Kkal/Kg)} = \frac{\Delta tW - I_1 - I_2 - I_3}{M_{bb}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

- Δt = Perbedaan temperatur rata-rata (°C)
- W = Nilai air kalorimeter (2.436 kal/°C)
- M_{bb} = Massa bahan bakar (g)
- I₁ = Natrium karbonat yang terpakai saat titrasi (mL)
- I₂ = 13,70 × 1,02 × massa contoh
- I₃ = 2,30 × kawat besi terbakar

2.9 Pengukuran dan Analisis Kualitas Udara di Dalam Ruangan

2.9.1 Konsentrasi Gas CO₂ dan CO

Pengukuran konsentrasi gas CO dan CO₂ menggunakan alat *Portable Air Quality Monitor*. Alat ini menggunakan prinsip *electro-chemical sensor* (pengukuran CO) dan prinsip *non-diversive infrared* (pengukuran CO₂). Rentang pengukuran CO

pada alat ini yaitu 0-500 ppm dengan ketelitian ± 3 ppm dan rentang pengukuran CO₂ pada alat ini yaitu 0-5.000 ppm dengan ketelitian ± 50 ppm. Konsentrasi CO dan CO₂ dapat dihitung dengan persamaan berikut (Wark, *et al.*, 1998).

$$C_{8 \text{ jam}} = C_{\text{sampling}} \times \left[\frac{n}{8} \right]^P \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

- C_{8 jam} = konsentrasi 8 jam gas (ppm)
- C_{sampling} = konsentrasi gas rata-rata terukur saat sampling n jam (ppm)
- N = lama waktu sampling (jam)
- P = Konversi Canter (0,17 - 0,20)

2.9.2 Konsentrasi PM_{2,5}

Pengukuran konsentrasi PM_{2,5} menggunakan alat *Low Volume Air Sampler* (LVAS) yang menggunakan filter *fiber glass*. Metode analisis yang digunakan yaitu metode analisis gravimetri. Laju alir yang dipakai pada alat LVAS menyesuaikan ukuran partikel yang akan dihisap, yaitu 3,5 L/menit (Goembira, *et al.*, 2021). Konsentrasi PM_{2,5} dapat dihitung dengan persamaan berikut (Lodge, 1989).

$$C = \frac{(W_s - W_o) \times 10^6}{V_{stp}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

- C = konsentrasi partikel tersuspensi ($\mu\text{g}/\text{N.m}^3$)
- W_s = berat filter *fiber glass* setelah *sampling* (g)
- W_o = berat filter *fiber glass* sebelum *sampling* (g)
- 10⁶ = konversi dari g menjadi μg

2.10 Pengukuran Laju Konsumsi Bahan Bakar

Water Boiling Test (WBT) merupakan metode untuk mengukur laju konsumsi bahan bakar. Metode ini berguna untuk mengukur efisiensi dari kompor yang menggunakan bahan bakar uji untuk memanaskan air dalam panci masak dan juga mengukur emisi yang dihasilkan pada saat penggunaan kompor. WBT terdiri dari tiga fase yang saling berkaitan, yaitu (PCIA & Global Alliance, 2014):

1. Fase *Cold-Start High-Power*, mulai dengan kompor pada temperatur ruang, dan menggunakan bahan bakar yang sebelumnya telah ditimbang, kemudian digunakan untuk merebus air pada panci standar. Selanjutnya air rebus tadi

diganti dengan panci baru yang memiliki temperatur ambien untuk dilanjutkan pada fase kedua;

2. Fase *Hot-Start High-Power*, dilakukan setelah fase pertama saat kompor masih panas. Bahan bakar yang telah ditimbang digunakan untuk merebus air menggunakan panci standar. Pengulangan uji dengan kompor panas dilakukan untuk mengidentifikasi perbedaan kinerja kompor.
3. Fase *Simmering*, Bahan bakar disediakan sesuai kebutuhan untuk mendidihkan sejumlah air yang terukur tepat di bawah titik didih selama 45 menit. Langkah ini mensimulasikan pemasakan kacang-kacangan yang umum di sebagian besar dunia.

Persamaan yang digunakan untuk pengukuran laju konsumsi bahan bakar berdasarkan PCIA & Global Alliance (2014) yaitu:

1. Konsumsi rata-rata bahan bakar kering

$$f_{cd} = f_{cm} \times (1 - (1,12 \times m)) - 1,5 \times \Delta CC \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan:

- f_{cd} = konsumsi rata-rata bahan bakar (g)
- f_{cm} = konsumsi bahan bakar (g)
- ΔCC = total massa bara yang terbentuk selama pengujian (g)
- m = kadar air biomassa dalam basis basah (%), dengan penentuan kadar air biomassa menggunakan persamaan:

$$m = \frac{m_{\text{bahan bakar basah}} - m_{\text{bahan bakar kering}}}{m_{\text{bahan bakar basah}}} \dots\dots\dots (2.16)$$

2. Laju konsumsi spesifik bahan bakar

$$SC = \frac{f_{cd}}{P_{cf} - P} \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan:

- SC = konsumsi spesifik bahan bakar (g/g)
- f_{cd} = konsumsi rata-rata bahan bakar kering (g)
- P_{cf} = massa panci berisi air setelah pengujian (g)
- P = massa panci kosong (g)

2.11 Peraturan Terkait

Baku mutu kualitas briket arang mengacu pada SNI 01-6325-2000 Tentang Briket Arang Kayu, dan SNI 06-3730-1995 Tentang Arang Aktif Teknis. Spesifikasi syarat mutu dari briket arang dapat dilihat pada **Tabel 2.5**. Baku mutu pencemar udara dalam ruangan mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruang

Rumah. Nilai baku mutu konsentrasi pencemar di dalam ruangan untuk parameter karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), dan *particulate matter* 2,5 (PM_{2,5}) dapat dilihat pada **Tabel 2.6**.

Tabel 2.5 Persyaratan Mutu Briket Arang Berdasarkan SNI

No.	Uraian	Satuan	Nilai Baku Mutu	
			Minimum	Maksimum
1.	Kadar air*	%	-	8
2.	Kadar zat terbang*	%	-	15
3.	Kadar abu*	%	-	8
4.	Kalori (ADBK)*	Kal/g	5.000	-
1.	Karbon aktif murni**	%	65	-
2.	Kerapatan jenis curah**	g/ml	0,45	0,55

Sumber: *SNI 01-6325-2000

** SNI 01-3730-1995

Tabel 2.6 Nilai Persyaratan Kualitas Udara dalam Ruang Rumah

No.	Jenis Parameter	Satuan	Kadar Maksimal yang Dipersyaratkan	Keterangan
1.	Karbon Monoksida (CO)	ppm	9	8 jam
2.	Karbon Dioksida (CO ₂)	ppm	1.000	8 jam
3.	PM _{2,5}	µg/m ³	35	24 jam

Sumber: PerMenKes RI Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011

2.12 Penelitian Terdahulu

Berdasarkan penelitian terdahulu, pemberian pakan pada larva BSF untuk analisis WRI umumnya dilakukan mulai dari umur larva 7 hari, karena mulai umur 7 hari tersebut larva BSF memiliki toleransi yang jauh lebih baik terhadap tinggi rendahnya temperatur, tekanan oksigen rendah, jamur, kandungan air, dan bahan beracun. Selain itu, waktu untuk analisis WRI dilakukan selama fase larva hingga akan mencapai fase prepupa BSF, yaitu sekitar 14-24 hari tergantung pada kondisi yang memengaruhi pertumbuhan larva BSF pada saat penelitian. Jenis pakan juga memengaruhi hasil dari tingkat reduksi dan indeks reduksi sampah yang didapatkan.

Berdasarkan penelitian terdahulu dapat disimpulkan persentase perekat kanji tergantung pada karakteristik bahan dan variasi jumlah perekat kanji dapat memengaruhi kualitas dari briket arang. Persentase perekat kanji terbaik untuk briket sekam padi berkisar antara 10 - 15%, briket arang kulit buah nipah 10%, dan briket arang tempurung kelapa 15%. Diperlukan penentuan persentase terbaik untuk bahan briket arang bangkai dan kerabang BSF dikarenakan belum terdapat

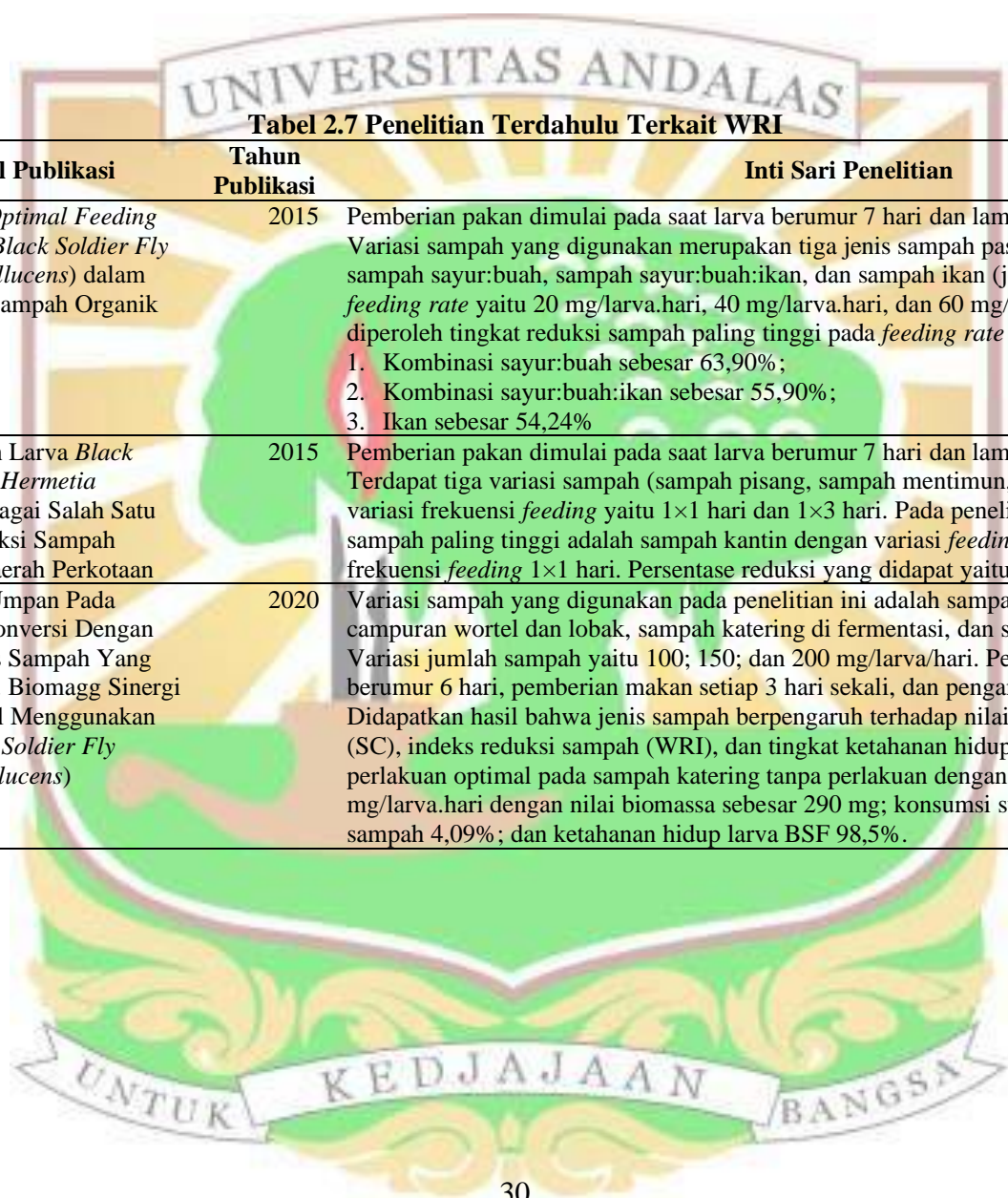
penelitian terdahulu terkait briket arang dengan bahan tersebut. Intisari penelitian terdahulu disajikan pada **Tabel 2.7** dan **Tabel 2.8** berikut.



UNIVERSITAS ANDALAS

Tabel 2.7 Penelitian Terdahulu Terkait WRI

Penulis	Judul Publikasi	Tahun Publikasi	Inti Sari Penelitian
Elvita Sari Saragi	Penentuan <i>Optimal Feeding Rate</i> Larva <i>Black Soldier Fly</i> (<i>Hermetia illucens</i>) dalam Mereduksi Sampah Organik Pasar	2015	Pemberian pakan dimulai pada saat larva berumur 7 hari dan lama percobaan selama 21 hari. Variasi sampah yang digunakan merupakan tiga jenis sampah pasar yang dikombinasikan, yaitu sampah sayur:buah, sampah sayur:buah:ikan, dan sampah ikan (jeroan dan tulang). Variasi <i>feeding rate</i> yaitu 20 mg/larva.hari, 40 mg/larva.hari, dan 60 mg/larva.hari. Pada penelitian ini diperoleh tingkat reduksi sampah paling tinggi pada <i>feeding rate</i> 20 mg/larva.hari, dengan rincian: <ol style="list-style-type: none"> 1. Kombinasi sayur:buah sebesar 63,90%; 2. Kombinasi sayur:buah:ikan sebesar 55,90%; 3. Ikan sebesar 54,24%
Pretty Yuniarti Elisabeth Sipayung	Pemanfaatan Larva <i>Black Soldier Fly</i> (<i>Hermetia illucens</i>) sebagai Salah Satu Upaya Reduksi Sampah Makanan Daerah Perkotaan	2015	Pemberian pakan dimulai pada saat larva berumur 7 hari dan lama percobaan selama 24 hari. Terdapat tiga variasi sampah (sampah pisang, sampah mentimun, dan sampah kantin) dengan 2 variasi frekuensi <i>feeding</i> yaitu 1×1 hari dan 1×3 hari. Pada penelitian ini diperoleh tingkat reduksi sampah paling tinggi adalah sampah kantin dengan variasi <i>feeding rate</i> 19 mg/larva.hari dengan frekuensi <i>feeding</i> 1×1 hari. Persentase reduksi yang didapat yaitu sebesar 65%.
Mega Trishuta Pathiassana, Syauqy Nur Izzy, Haryandi, dan Samuyus Nealma	Studi Laju Umpan Pada Proses Biokonversi Dengan Variasi Jenis Sampah Yang Dikelola PT. Biomagg Sinergi Internasional Menggunakan Larva <i>Black Soldier Fly</i> (<i>Hermetia Illucens</i>)	2020	Variasi sampah yang digunakan pada penelitian ini adalah sampah catering tanpa perlakuan, campuran wortel dan lobak, sampah catering di fermentasi, dan sampah catering yang direbus. Variasi jumlah sampah yaitu 100; 150; dan 200 mg/larva/hari. Pemberian pakan dimulai saat larva berumur 6 hari, pemberian makan setiap 3 hari sekali, dan pengamatan dilakukan selama 15 hari. Didapatkan hasil bahwa jenis sampah berpengaruh terhadap nilai biomassa, konsumsi substrat (SC), indeks reduksi sampah (WRI), dan tingkat ketahanan hidup larva (SR). Didapatkan perlakuan optimal pada sampah catering tanpa perlakuan dengan jumlah sampah 100 mg/larva.hari dengan nilai biomassa sebesar 290 mg; konsumsi substrat 61,28%; indeks reduksi sampah 4,09%; dan ketahanan hidup larva BSF 98,5%.



Tabel 2.8 Penelitian Terdahulu Terkait Briket Arang Berperkat Tepung Kanji

Penulis	Judul Publikasi	Tahun Publikasi	Inti Sari Penelitian
Sudding dan Jamaluddin	Pengaruh Jumlah Perekat Kanji terhadap Lama Briket Terbakar menjadi Abu	2015	<p>Penelitian berupa perlakuan variasi jumlah perekat kanji 5%, 7%, 9%, 11%, 13%, dan 15% pada briket arang tempurung kelapa. Didapatkan hasil penelitian sebagai berikut.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Jumlah perekat kanji berpengaruh terhadap keutuhan dan kekerasan briket yang terbentuk, sehingga berpengaruh terhadap lama waktu pembakaran briket arang; 2. Briket arang tempurung kelapa dengan perekat kanji 15% merupakan variasi perekat optimum pada penelitian ini.
Faujiah	Pengaruh Konsentrasi Perekat Tepung Tapioka terhadap Kualitas Briket Arang Kulit Buah Nipah (<i>Nyfa fruticans wurmb</i>)	2016	<p>Penelitian berupa perlakuan variasi perekat kanji yaitu 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, dan 15% terhadap kualitas briket arang kulit buah nipah. Didapatkan hasil penelitian yaitu briket arang dengan perekat kanji persentase 10% memiliki nilai kalor tertinggi dibandingkan dengan persentase perekat yang lain yaitu sebesar 4.549,8054 kal/g.</p>
Mitra Medio	Evaluasi Konsentrasi Karbon Dioksida (CO ₂), Karbon Monoksida (CO), dan <i>Particulate Matter</i> 2,5 (PM _{2,5}) dari Pemakaian Bahan Bakar Briket Arang Jerami Padi	2021	<p>Penelitian berupa analisis kualitas briket jerami padi dengan persentase perekat kanji 10% dan analisis kualitas udara di dalam ruangan akibat pembakaran briket arang tersebut. Didapatkan hasil penelitian sebagai berikut.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kualitas briket arang memenuhi persyaratan kualitas briket arang sesuai dengan SNI 01-6235-2000 dan SNI 06-3730-1995, kecuali untuk nilai kalor; 2. Konsentrasi CO₂, CO, dan PM_{2,5} hasil pembakaran briket arang memenuhi baku mutu yang ditetapkan oleh PERMENKES RI No. 1077/MENKES/PER/V/2011.
Agnesia Arista Wijaya AK, Ni Luh Yulianti, Ida Bagus Putu Gunadnya	Karakteristik Briket Biomassa dari Variasi Bahan Baku dan Persentase Perekat yang Berbeda	2021	<p>Penelitian berupa analisis karakteristik dan pengaruh jenis bahan baku dan persentase perekat yang berbeda terhadap mutu briket biomassa yang dihasilkan dan penentuan perlakuan yang menghasilkan mutu briket biomassa terbaik. Bahan baku yang digunakan yaitu arang bambu tabah, sekam padi, serta campuran bambu tabah dan sekam padi. Perekat yang digunakan berupa perekat kanji dengan persentase perekat yang diujikan yaitu 10%, 15%, dan 20%. Didapatkan hasil penelitian yaitu perlakuan arang sekam padi dengan perekat kanji 15% merupakan perlakuan yang menghasilkan kualitas briket terbaik.</p>

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengevaluasi manfaat budi daya BSF dalam mereduksi gas metana yang dihasilkan oleh TPA di Kota Padang menggunakan nilai WRI larva BSF dengan jenis sampah organik sisa rumah makan. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi pemanfaatan limbah budi daya BSF sebagai bahan briket arang. Analisis kualitas briket arang bangkai dan kerabang BSF menggunakan metode *proximate analysis*. Hasil analisis kemudian dievaluasi dengan cara dibandingkan dengan baku mutu SNI 01-6235-2000 dan SNI 06-3730-1995. Setelah analisis kualitas dilakukan dan telah dipilih briket arang dengan persentase perekat terbaik, penelitian dilanjutkan dengan analisis kandungan gas CO, gas CO₂, dan PM_{2,5}, pada udara di dalam ruangan pada saat pembakaran briket arang dengan kompor biomassa Sawir generasi dua. Hasil analisis kemudian dievaluasi dengan cara dibandingkan dengan baku mutu PERMENKES RI No.1077/MENKES/PER/V/2011.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

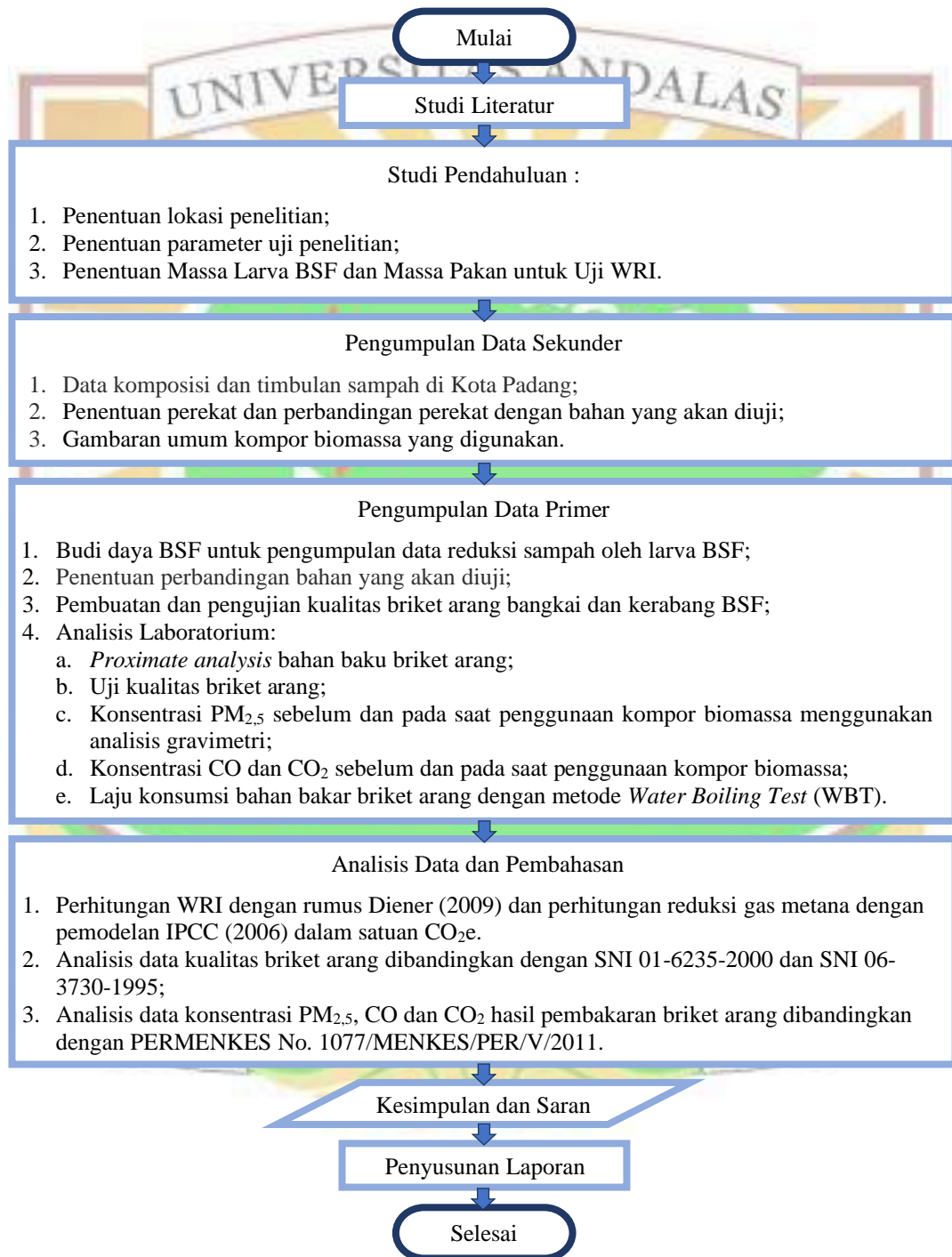
Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret 2022 hingga bulan September 2022. Penelitian dilakukan di beberapa tempat. Tempat dan kegiatan penelitian lebih jelasnya dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Tempat dan Kegiatan Penelitian

No.	Tempat Penelitian	Kegiatan Penelitian
1.	MinaGot Sumbar	Budi daya BSF, pengumpulan data reduksi sampah oleh larva BSF, dan pengumpulan bahan baku briket arang.
2.	PT Semen Padang	Karbonisasi bahan briket arang
3.	Laboratorium Penelitian PT Semen Padang	<i>Proximate analysis</i> bahan baku briket arang.
4.	Laboratorium Kualitas Udara Departemen Teknik Lingkungan Universitas Andalas	Pembuatan briket arang, uji laju konsumsi bahan bakar, dan uji kualitas udara dalam ruangan akibat pembakaran briket arang.
5.	Laboratorium Air Departemen Teknik Lingkungan Universitas Andalas	Uji kualitas briket arang.
6.	Laboratorium Non Ruminansia Fakultas Peternakan Universitas Andalas	Uji kalor briket arang.

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini meliputi studi literatur, studi pendahuluan, pengumpulan data sekunder, pengumpulan data primer, analisis data dan pembahasan hasil penelitian. Diagram alir tahapan penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur berguna sebagai landasan teori dari penelitian tugas akhir, dengan cara mengumpulkan referensi terkait penelitian melalui buku maupun jurnal ilmiah. Studi literatur pada penelitian tugas akhir ini yaitu terkait dengan informasi mengenai biomassa, briket arang, BSF dan manfaat budi daya BSF, WRI dan reduksi gas metana, dasar pemilihan perekat tepung kanji 10% dan 15%, kompor biomassa Sawir generasi kedua, dan aspek-aspek yang memengaruhi kualitas briket arang. Selain itu juga dijabarkan mengenai kualitas udara di dalam ruangan, metode analisis kualitas dan laju konsumsi bahan bakar briket arang, serta metode pengambilan sampel dan analisis kualitas udara di dalam ruangan dengan parameter CO, CO₂, dan PM_{2,5}.

3.3.2 Studi Pendahuluan

3.3.2.1 Penentuan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian untuk pengumpulan data reduksi sampah oleh larva BSF yaitu di MinaGot Sumbar, Kec. Kuranji, Kota Padang. Tempat budi daya larva BSF adalah *biopond* dengan dimensi 40 cm × 31 cm × 15 cm, *biopond* dapat dilihat pada **Gambar 3.2**. *Biopond* disusun pada rak *biopond* dan ditutupi oleh kain untuk menghindari larva BSF keluar dari *biopond* tersebut. Lebih jelasnya, bentuk susunan dari *biopond* dapat dilihat pada **Gambar 3.3** berikut.

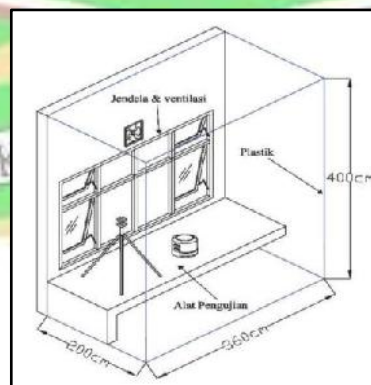


Gambar 3.2 *Biopond* Tempat Budi Daya Larva BSF



Gambar 3.3 Susunan Biopond

Lokasi pengujian briket arang dilakukan di beberapa tempat, yaitu pengujian kualitas bahan baku briket arang di Laboratorium Penelitian PT Semen Padang, pengujian kualitas briket arang di Laboratorium Air Departemen Teknik Lingkungan Universitas Andalas, dan pengujian nilai kalor di Laboratorium Non Ruminansia Fakultas Peternakan Universitas Andalas. Pembuatan briket arang, pengujian laju konsumsi bahan bakar, dan pengujian kualitas udara dalam ruangan akibat pembakaran briket arang dilakukan di Laboratorium Kualitas Udara Departemen Teknik Lingkungan Universitas Andalas. Lokasi pengujian kualitas udara dalam ruangan akibat pembakaran briket arang berbentuk ruangan isolasi dengan dimensi $3,6 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ sebagai simulasi ruangan dapur. Pada ruang isolasi terdapat ventilasi untuk pertukaran udara sebagai pencegahan pencemar memasuki ruangan di sekitar lokasi penelitian, sesuai dengan PERMENKES No. 1077/MENKES/PER/V/2011. *Layout* ruang isolasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.4** dan ruang isolasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.4 Layout Ruang Isolasi Penelitian

Sumber: Medio, 2021



Gambar 3.5 Ruang Isolasi Penelitian

3.3.2.2 Penentuan Parameter Uji Penelitian

Penentuan parameter uji penelitian terbagi dua, yaitu parameter uji kualitas briket arang dan parameter uji kualitas udara di dalam ruangan akibat pembakaran briket arang. Parameter uji kualitas briket arang yaitu kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, kadar karbon terikat, kerapatan, dan nilai kalor. Parameter uji kualitas udara di dalam ruangan yaitu CO, CO₂, dan PM_{2,5}.

3.3.2.3 Penentuan Massa Larva BSF dan Massa Pakan untuk Uji WRI

Penentuan massa larva BSF dan massa pakan dilakukan dengan uji pendahuluan menggunakan larva berumur 7 hari sebanyak 2 gram, dengan pemberian pakan setiap 2 hari sekali sebanyak 200 gram untuk minggu pertama yang kemudian ditingkatkan menjadi sebanyak 400 gram untuk minggu kedua. Sampah yang digunakan sebagai pakan yaitu sampah sisa rumah makan tanpa perlakuan. Berdasarkan hasil uji pendahuluan dapat disimpulkan bahwa pemberian pakan 200 gram untuk minggu pertama terlalu banyak, karena didapati masih banyak pakan yang belum dicerna oleh larva BSF, dapat dilihat dari bentuk pakan yang tidak berubah, sehingga menyebabkan penumpukan pakan pada *biopond*. Pada hari ke-14, banyak larva BSF dalam *biopond* telah memasuki fase prepupa. Penumpukan pakan ini juga menyebabkan terdapat beberapa larva BSF yang mati. Berdasarkan hasil yang dapat dilihat pada **Gambar 3.6**, maka ditentukan waktu penelitian selama 14 hari dan pada hari ke-15 dilakukan pengambilan data. Banyaknya larva BSF ditingkatkan menjadi 3 gram dan pemberian pakan larva diturunkan menjadi

100 gram untuk minggu pertama dan 300 gram untuk minggu kedua. Sampah juga diberi perlakuan yaitu dicacah terlebih dahulu sebelum diberikan kepada larva BSF.



Gambar 3.6 Hasil Uji Pendahuluan

3.3.3 Pengumpulan Data Sekunder

3.3.3.1 Data Komposisi dan Timbulan Sampah di Kota Padang

Data komposisi dan data timbulan sampah di Kota Padang yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). Data komposisi sampah yang dibutuhkan pada penelitian ini yaitu komposisi sampah sisa makanan Data yang diambil adalah data terbaru yaitu data tahun 2021. Persentase komposisi sampah sisa makanan Kota Padang pada tahun 2021 yaitu sebesar 62,80%. Data timbulan sampah di Kota Padang pada tahun 2021 yaitu sebesar 639,41 ton/hari atau sebesar 233.385,96 ton/tahun.

3.3.3.2 Penentuan Perikat dan Variasi Persentase Perikat pada Briket Arang

Belum terdapat penelitian terdahulu mengenai briket arang yang menggunakan bahan baku bangkai dan kerabang BSF, oleh karena itu dilakukan penentuan perikat dan variasi perikat. Perikat briket arang bangkai dan kerabang BSF yang digunakan pada penelitian ini yaitu perikat tepung kanji. Perikat tepung kanji merupakan perikat yang sudah umum digunakan dalam pembuatan briket arang, dikarenakan sifatnya yang memiliki daya rekat tinggi dan pemakaiannya yang mudah (Amin, 2017). Variasi persentase perikat ditentukan berdasarkan beberapa penelitian terdahulu yang merujuk pada **Tabel 2.8** yang terdapat pada **Subbab 2.12**.

3.3.3.3 Penentuan Kompor Biomassa

Kompor biomassa yang digunakan pada penelitian ini adalah kompor biomassa sawir generasi kedua. Kompor biomassa sawir generasi kedua merupakan kompor biomassa yang memiliki desain sederhana dan terbuat dari bahan bekas seperti plat-plat bekas, mudah digunakan, serta ramah lingkungan karena kompor sudah dilengkapi dengan lubang udara. Kompor biomassa sawir generasi kedua dapat dilihat pada **Gambar 3.7** berikut.



Gambar 3.7 Kompor Biomassa Sawir Generasi Kedua

3.3.4 Pengumpulan Data Primer

3.3.4.1 Budi Daya BSF

Budi daya BSF dilakukan di MinaGot Sumbar, Kecamatan Kuranji, Kota Padang. Sampah makanan yang digunakan untuk pemberian pakan merupakan sampah sisa rumah makan di sekitar Kecamatan Kuranji. Komposisi sampah makanan yang diberikan yaitu sisa nasi sebesar 70% dan selebihnya berupa sisa daging-dagingan, sayur-sayuran, dan buah-buahan (30%). Pakan dicacah terlebih dahulu seperti **Gambar 3.8** sebelum diberikan kepada larva BSF, hal ini bertujuan untuk memudahkan larva BSF mencerna pakan tersebut.



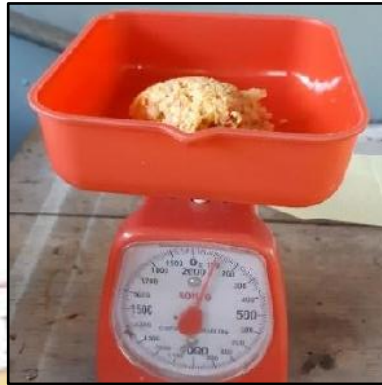
Gambar 3.8 (a) dan (b), Sampah Makanan yang Telah Dicacah

Larva BSF yang digunakan adalah larva berumur 7 hari dihitung sejak telur menetas. Ulangan pada penelitian ini sebanyak 5 ulangan, dengan masing-masing *biopond* dimasukkan larva BSF sebanyak 3 gram. Pengamatan larva dilakukan selama 2 minggu pada fase optimum larva BSF (umur 7-21 hari). Pakan diberikan setiap 2 hari sekali agar larva dapat menguraikan sampah secara menyeluruh. Pemberian pakan diberikan sebanyak tujuh kali, dengan rincian yang dapat dilihat pada **Tabel 3.2**.

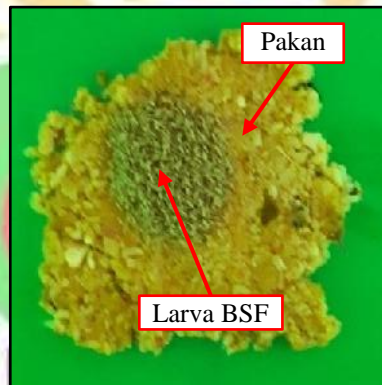
Tabel 3.2 Pemberian Pakan Larva BSF

Pemberian Pakan Hari Ke-...	Massa Basah Pakan (g)	Feeding Rate (mg/larva.hari)
1	100,00	30
3	100,00	30
5	100,00	30
7	300,00	80
9	300,00	80
11	300,00	80
13	300,00	80
Total	1.500,00	

Proses penimbangan pakan sebelum diberikan kepada larva BSF dilakukan seperti pada **Gambar 3.9**. Pemberian pakan larva BSF pada hari ke-1 dapat dilihat pada dan **Gambar 3.10**. Kadar air awal sampel sampah dihitung pada waktu pemberian pakan, hal ini bertujuan untuk mengetahui massa kering sampel sampah.

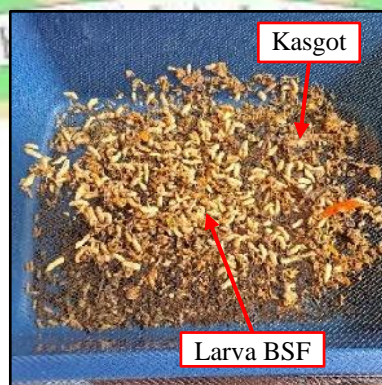


Gambar 3.9 Penimbangan Pakan



Gambar 3.10 Pemberian Pakan Hari Ke-1

Penyaringan sisa reduksi sampah atau yang biasa disebut kasgot (bekas *maggot*) dilakukan pada hari ke-15. Penyaringan dilakukan untuk memisahkan kasgot dengan larva BSF. Setelah penyaringan kasgot, dilakukan pengambilan data berupa massa larva per ekor, jumlah larva per gram, serta massa basah dan massa kering sisa reduksi sampah. Proses penyaringan dan dapat dilihat pada **Gambar 3.11** dan sisa reduksi sampah yang telah disaring dapat dilihat pada **Gambar 3.12**. Setelah data terkumpul, dilanjutkan dengan analisis perhitungan WRI dan reduksi gas metana.



Gambar 3.11 Penyaringan Kasgot



Gambar 3.12 Sisa Reduksi Sampah

3.3.4.2 Penentuan Perbandingan Bahan Briket Arang

Penentuan perbandingan bahan briket arang bangkai dan kerabang BSF dilihat dari banyaknya limbah yang dihasilkan dalam satu siklus budi daya BSF yang dilakukan di MinaGot Sumbar. Berdasarkan hasil pengamatan dan hasil pengumpulan bahan briket arang selama pembudidayaan, perbandingan limbah bangkai BSF dan limbah kerabang BSF adalah 1:3 dari total massa yang didapatkan. Selain itu, pada *proximate analysis* bahan baku briket arang didapati nilai kadar abu bangkai BSF lebih tinggi dibandingkan dengan kerabang BSF. Berdasarkan hal tersebut, komposisi briket arang yang akan diuji dijabarkan pada **Tabel 3.3** berikut.

Tabel 3.3 Komposisi Briket Arang yang Akan Diuji

No.	Perbandingan	Keterangan Bahan Baku	Perekat Tepung Kanji
1.	1:3	Bangkai BSF : Kerabang BSF	10%
2.			15%

3.3.4.3 Pembuatan Briket Arang

Proses pembuatan briket arang adalah sebagai berikut.

1. Persiapan bahan baku

Bangkai dan kerabang BSF dikumpulkan dan dikeringkan dibawah sinar matahari selama 1-2 hari.

2. Pengarangan dan penghalusan bahan baku

Pengarangan bahan baku menggunakan reaktor pirolisis dengan temperatur $\pm 250^{\circ}\text{C}$ selama sepuluh (10) jam di PT Semen Padang. Setelah bahan baku di karbonisasi, bahan baku kemudian dihaluskan dan disaring menggunakan ayakan 40 *mesh*.

3. Penghalusan dan pencampuran bahan baku dengan perekat

Bahan baku yang telah dikarbonisasi dan dihaluskan kemudian diberi bahan perekat tepung kanji dengan perlakuan 10% dan 15% dari massa total bahan baku.

4. Pencetakan briket arang

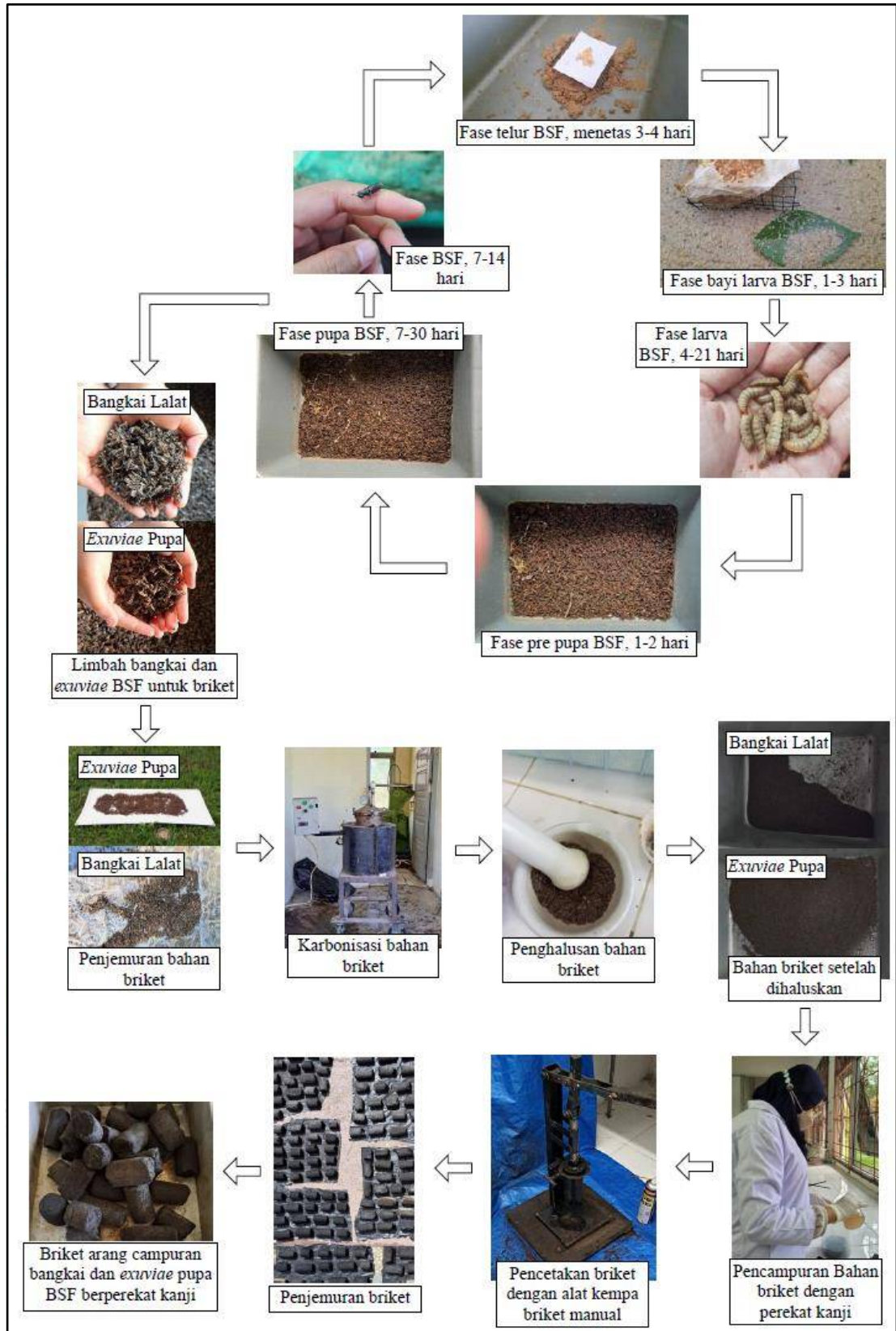
Pencetakan dilakukan dengan menggunakan alat kempa briket manual dengan cetakan silinder baja berdiameter 2,5 cm. Bahan baku yang telah dicampurkan dengan perekat dimasukkan ke dalam alat dan dipadatkan hingga penuh. Bahan kemudian dicetak dengan menekan cetakan selama 20 detik agar briket arang padat dan tidak hancur saat dikeluarkan dari cetakan.

5. Pengeringan briket arang

Pengeringan briket arang ini bertujuan untuk mengurangi kadar air briket arang. Pengeringan briket arang dilakukan dengan cara menjemur briket tersebut dibawah sinar matahari selama 7 hari hingga briket arang benar-benar kering.

Lebih jelasnya, proses pembuatan briket arang bangkai dan kerabang BSF yang dimulai dari budi daya BSF dapat dilihat pada **Gambar 3.13** berikut.





Gambar 3. 13 Proses Pembuatan Briket

3.3.4.5 Analisis Laboratorium

1. Uji Kualitas Bahan Baku Briket Arang

Uji kualitas dengan metode *proximate analysis* dilakukan terhadap bahan baku briket arang yaitu bangkai BSF, kerabang BSF, dan tepung kanji sebagai perekat briket arang. Hal ini bertujuan untuk mengetahui potensi limbah BSF dan perekat kanji untuk dijadikan sebagai bahan pembuatan briket arang pada penelitian ini. Hasil uji tersebut dapat dilihat pada **Tabel 3.4** berikut.

Tabel 3.4 Hasil Uji Kualitas Bahan Baku Briket Arang

No.	Sampel Serbuk	Hasil uji			Nilai Kalor (kal/g)
		Kadar Air (%)	Kadar abu (%)	Kadar Zat Terbang (%)	
1.	Kerabang BSF	12,11	14,79	62,65	3.734
2.	Bangkai BSF	6,97	31,42	57,94	3.343
3.	Tepung kanji	16,55	0,15	80,77	3.437

Berdasarkan hasil pengujian pada **Tabel 3.4**, bangkai dan kerabang BSF memiliki potensi untuk dijadikan bahan briket arang dikarenakan nilai kalor bahan baku yang cukup tinggi. Namun hasil uji juga menunjukkan persentase kadar air, kadar abu, dan kadar zat terbang yang masih melebihi baku mutu. Oleh karena itu disimpulkan bahwa bangkai dan kerabang BSF dapat dijadikan sebagai bahan untuk membuat briket arang dengan catatan komposisi bahan kerabang BSF lebih banyak dibandingkan bahan bangkai BSF dan diharapkan nilai kadar abu dan kadar zat terbang dapat menurun setelah proses pengarangan bahan baku.

2. Analisis Kualitas Briket Arang

Analisis kualitas briket arang dilakukan dengan menggunakan metode *proximate analysis* yang dilakukan secara duplo, data pertama dan kedua dibandingkan dan data akhir yang diambil adalah rata-rata dari kedua data tersebut. Langkah-langkah pengujian kualitas briket arang yaitu:

a. Kadar Air (SNI 06-3730-1995)

Tahap pengujian kadar air yang dilakukan adalah:

- 1) Cawan porselen kosong ditimbang menggunakan neraca analitis, kemudian pada cawan porselen tersebut diletakkan 1 gram sampel;
- 2) Cawan porselen yang telah diisi sampel dimasukkan ke dalam oven dengan temperatur $115 \pm 5^\circ\text{C}$ selama 3 jam;

- 3) Setelah 3 jam, cawan porselen dikeluarkan dari dalam oven kemudian didinginkan di desikator sampai temperatur dan kondisi stabil;
- 4) Lalu cawan ditimbang kembali untuk mendapatkan massa sampel setelah di oven.
- 5) Kadar air dihitung dengan persamaan **(2.7)**.

b. Kadar Abu (SNI 06-3730-1995)

Tahap pengujian kadar abu yang dilakukan adalah:

- 1) Cawan porselen kosong ditimbang menggunakan neraca analitis, kemudian pada cawan porselen tersebut diletakkan 2 gram sampel;
- 2) Cawan porselen yang telah diisi sampel dimasukkan ke dalam *furnace* dengan temperatur 800-900°C selama 2 jam;
- 3) Setelah 2 jam, cawan porselen dikeluarkan dari dalam *furnace* kemudian didinginkan di desikator sampai temperatur dan kondisi stabil;
- 4) Lalu cawan ditimbang kembali untuk mendapatkan massa sampel setelah di *furnace*.
- 5) Kadar abu dihitung dengan persamaan **(2.8)**.

c. Kadar zat terbang (SNI 06-3730-1995)

Tahap pengujian kadar abu yang dilakukan adalah:

- 1) Cawan porselen kosong ditimbang menggunakan neraca analitis, kemudian pada cawan porselen tersebut diletakkan 1-2 gram sampel dan setelah itu cawan porselen ditutup;
- 2) Cawan porselen tertutup yang telah diisi sampel dimasukkan ke dalam *furnace* dengan temperatur $\pm 950^{\circ}\text{C}$ selama 7 menit;
- 3) Setelah 7 menit, cawan porselen tertutup dikeluarkan dari dalam *furnace* kemudian didinginkan di desikator sampai temperatur dan kondisi stabil;
- 4) Lalu cawan ditimbang kembali untuk mendapatkan massa sampel setelah di *furnace*.
- 5) Kadar zat terbang dihitung dengan persamaan **(2.9)**.

d. Kadar karbon terikat (SNI 8021-2014)

Nilai kadar karbon terikat didapatkan dengan mengurangi persentase total dengan nilai kadar air, kadar abu, dan kadar zat terbang. Kadar karbon terikat dihitung dengan persamaan **(2.10)**.

e. Kerapatan (SNI 8021-2014)

Tahap pengujian kerapatan yang dilakukan adalah:

- 1) Massa satu briket ditimbang menggunakan neraca analitis;
- 2) Kemudian volume briket diukur.
- 3) Kerapatan dihitung dengan persamaan (2.11).

f. Nilai kalor (SNI 01-6325-2000)

Nilai kalor diukur dengan alat *bomb calorimeter* dengan tahapan sebagai berikut.

- 1) Sampel briket dipotong dan ditimbang sebanyak 1 gram, sampel harus dalam bentuk potongan (tidak boleh hancur);
- 2) *Fuse wire* diukur, kemudian dihubungkan dengan masing-masing elektroda dan disambungkan dengan sampel di dalam *bomb*;
- 3) Isi gas oksigen ke dalam *bomb*, maksimum 30 atm;
- 4) Aliran gas oksigen ditutup, kemudian setelah ditunggu beberapa saat sisa oksigen di dalam selang dibuang hingga regulator mencapai angka nol (0);
- 5) Isi *bucket* dengan air suling sebanyak 1,5 liter;
- 6) *Bucket* diletakkan dalam *calorimeter*, kemudian *bomb* dimasukkan ke dalam *bucket* hingga dudukannya tepat, lalu hubungkan terminal kabel pada *bomb*;
- 7) Tutup *calorimeter*, hubungkan alat pengaduk dan tunggu selama 5 menit hingga temperatur air suling pada *bucket* stabil;
- 8) Catat temperatur awal pada termometer;
- 9) Tekan *ignition unit* hingga lampu indikator berwarna merah berkelip, kemudian tekan kembali tombol tersebut setelah 5 menit;
- 10) Catat kenaikan temperatur pada termometer, jika temperatur tidak naik setelah ± 3 menit ditunggu, maka didapatkan nilai temperatur akhir dan nilai tersebut dicatat;
- 11) Buka *calorimeter* dan keluarkan *bomb*, buang sisa gas oksigen dalam *bomb* dan bilas permukaan *bomb* dengan aquades, air bilasan tersebut dipindahkan ke *erlenmeyer*;
- 12) Sisa *fuse wire* yang tidak terbakar diukur;

13) Air bilasan *bomb* tadi kemudian di titrasi dengan larutan Na_2CO_3 dengan indikator merah metil.

14) Nilai kalor kemudian dihitung dengan persamaan (2.12).

3. Analisis Kualitas Udara di Dalam Ruang Akibat Pembakaran Briket Arang

Analisis kualitas udara di dalam ruangan akibat pembakaran briket arang dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

a. Pengukuran gas CO dan CO_2

Gas CO dan CO_2 diukur secara langsung menggunakan alat *portable air quality monitor*. Prosedur kerja alat *portable air quality monitor* CO dan CO_2 adalah sebagai berikut (Goembira, *et al.*, 2021).

- 1) Siapkan *stopwatch* dan tunggu api pada kompor biomassa menyala;
- 2) Sesuaikan pengaturan kompor;
- 3) Bahan bakar dimasukkan sebanyak $\frac{2}{3}$ tinggi ruang bakar;
- 4) Letakkan panci berisi air diatas kompor;
- 5) Nyalakan api dan hidupkan *stopwatch*, catat waktu saat api mulai hidup;
- 6) Hidupkan alat *portable air quality monitor*;
- 7) Amati dan catat jumlah ppm konsentrasi gas CO dan gas CO_2 yang ditampilkan pada meteran dalam ppm setiap 1 menit pengukuran;
- 8) Catat waktu air mulai mendidih sampai temperatur air mencapai titik didih setiap menit;
- 9) Konsentrasi CO dan CO_2 dihitung menggunakan persamaan (2.13).

b. Pengukuran $\text{PM}_{2,5}$

Pengukuran $\text{PM}_{2,5}$ menggunakan alat *Low Volume Air Sampler* (LVAS). Prosedur kerja alat LVAS adalah sebagai berikut (Goembira, *et al.*, 2021).

- 1) Fase persiapan
 - a) Filter yang akan digunakan diletakkan di dalam desikator selama 24 jam;
 - b) Filter kosong ditimbang dengan neraca analitis dan hasil penimbangan dicatat;
 - c) Filter diletakkan ke dalam *file box* yang sudah diberi label dan telah diisi dengan *silica gel*.

- 2) Fase pengambilan sampel
 - a) Filter dimasukkan ke dalam *filter holder*, kemudian LVAS dihubungkan ke pompa penghisap udara dengan tabung silikon, dan pompa tersebut dihubungkan ke arus listrik;
 - b) LVAS ditempatkan pada tempat pengukuran dengan menggunakan tripod. Tripod diatur setinggi 1 m dari permukaan kompor dan tripod diberi jarak 50 cm dari kompor;
 - c) Pompa dihidupkan dan sampel diambil menggunakan laju aliran udara 3,5 l/menit. Lama pengambilan sampel dilakukan selama pengukuran laju konsumsi bahan bakar berjalan;
 - d) Setelah pengukuran selesai, filter dikeluarkan menggunakan pinset dari *filter holder* dan dimasukkan ke dalam desikator selama 24 jam.
- 3) Fase penimbangan sampel
 - a) Filter dikeluarkan dari desikator;
 - b) Filter ditimbang dengan menggunakan neraca analitis;
 - c) Hasil penimbangan dicatat.
- 4) Konsentrasi PM_{2,5} dihitung menggunakan persamaan (2.14).

4. Analisis Laju Konsumsi Bahan Bakar Briket Arang

Analisis laju konsumsi spesifik bahan bakar menggunakan metode WBT. Pengujian dilakukan pada ruangan isolasi yang telah dijabarkan pada **Subbab 3.3.1**, dengan menggunakan kompor biomassa yang telah dijabarkan pada **Subbab 3.4.3**. Pengujian terbagi atas 3 fase yaitu fase *cold start*, fase *hot start*, dan fase *simmering* yang dilakukan secara berurutan. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan data yang valid.

Tahapan analisis laju konsumsi bahan bakar dengan metode WBT adalah sebagai berikut.

- a. Persiapan alat dan bahan, yaitu:
 - 1) Briket arang bangkai dan kerabang BSF, dihitung dari bahan bakar yang masuk ke ruang pembakaran, bahan bakar diisi hingga 2/3 tinggi ruang pembakaran;
 - 2) Air dengan temperatur ruang dengan volume 2,5 liter;
 - 3) Kompor biomassa;

- 4) Panci aluminium;
- 5) *Stopwatch*;
- 6) Timbangan digital dengan ketelitian 1 gram;
- 7) Termometer

b. Prosedur pengujian fase *cold start*

- 1) Briket dimasukkan sebanyak 2/3 tinggi ruang pembakaran kompor biomassa;
- 2) Panci kosong ditimbang, kemudian diisi dengan air dan ditimbang kembali, termometer diletakkan di atas panci dengan ujung termometer memasuki air (bagian bawah termometer tidak menyentuh dasar panci), temperatur air kemudian dicatat;
- 3) Siapkan *stopwatch* untuk mengukur waktu;
- 4) Letakkan panci diatas kompor;
- 5) Nyalakan LVAS untuk pengukuran parameter PM_{2,5} dan PAQM untuk pengukuran gas CO dan CO₂;
- 6) Nyalakan api pada kompor biomassa dan hidupkan *stopwatch*. Catat waktu ketika api mulai hidup;
- 7) Catat waktu ketika air mulai mendidih setiap menit sampai temperatur air turun tiga derajat dari titik didih. Hentikan pengujian saat temperatur 99,05°C tercapai;
- 8) Matikan alat LVAS dan PAQM, lepaskan filter pada LVAS dan masukkan filter ke dalam kotak *file*;
- 9) Matikan api pada kompor dengan cara memasukkan pasir ke dalam ruang pembakaran, kemudian pisahkan abu yang terbakar dengan bahan bakar yang belum terbakar;
- 10) Timbang kompor dengan bahan bakar yang tersisa untuk menentukan konsumsi bahan bakar;
- 11) Timbang panci berisi air untuk mengetahui berat air setelah pengujian.

c. Prosedur pengujian fase *hot start*

- 1) Lakukan tahap pengujian yang sama dengan pengujian fase sebelumnya, yaitu persiapan bahan bakar, panci dan air, serta persiapan *stopwatch*;

- 2) Nyalakan LVAS untuk pengukuran parameter $PM_{2,5}$ dan PAQM untuk pengukuran gas CO dan CO_2 ;
- 3) Nyalakan api pada kompor biomassa dan data dicatat seperti pada pengujian fase *cold start*;
- 4) Catat waktu ketika air mulai mendidih setiap menit sampai temperatur air turun seperti langkah pada pengujian fase *cold start*.
- 5) Matikan alat LVAS dan PAQM, lepaskan filter pada LVAS dan masukkan filter ke dalam kotak *file*;
- 6) Matikan api pada kompor dengan cara memasukkan pasir ke dalam ruang pembakaran, kemudian pisahkan abu yang terbakar dengan bahan bakar yang belum terbakar;
- 7) Timbang kompor dengan bahan bakar yang tersisa untuk menentukan konsumsi bahan bakar;
- 8) Timbang panci berisi air untuk mengetahui berat air setelah pengujian.

d. Prosedur pengujian fase *Simmering*

- 1) Atur ulang *stopwatch*, tunggu kompor menyala kembali dan gunakan bahan bakar sebanyak $2/3$ tinggi ruang pembakaran kompor biomassa;
- 2) Timbang kembali kompor biomassa dengan panci berisi air, tambahkan berat pada tahap pertama dan kedua, letakkan kembali termometer di atas panci;
- 3) Nyalakan LVAS untuk pengukuran parameter $PM_{2,5}$ dan PAQM untuk pengukuran gas CO dan CO_2 ;
- 4) Nyalakan api pada kompor biomassa dan api diatur untuk tetap menyala selama 45 menit sehingga temperatur air pada panci tetap terjaga, dengan penurunan temperatur yang diperbolehkan sebesar 3 derajat dari titik didih. Uji ini dikatakan gagal jika penurunan temperatur lebih dari 6 derajat dibawah titik didih lokal;
- 5) Setelah 45 menit kompor dimatikan kemudian pisahkan abu yang terbakar dengan bahan bakar yang belum terbakar, dan timbang kompor dengan bahan bakar yang tersisa;
- 6) Catat temperatur akhir dari air di dalam panci;

- 7) Matikan alat LVAS dan PAQM, lepaskan filter pada LVAS dan masukkan filter ke dalam kotak *file*;
 - 8) Timbang panci berisi air untuk mengetahui berat air setelah pengujian.
- e. Setelah semua data didapatkan, nilai laju konsumsi bahan bakar dihitung dengan menggunakan persamaan (2.15) dan (2.17).

3.3.5 Analisis Data dan Pembahasan

3.3.5.1 Waste Reduction Index (WRI) dan Reduksi Gas Metana

Data yang diperoleh pada saat budi daya BSF dihitung untuk mendapatkan nilai tingkat degradasi sampah menggunakan persamaan (2.1). Setelah nilai degradasi sampah didapatkan, maka dihitung nilai WRI menggunakan persamaan (2.2). Setelah nilai WRI didapatkan, dilanjutkan dengan menghitung massa akhir sampah sisa makanan selama satu tahun di Kota Padang. Data jumlah sampah makanan di Kota Padang didapatkan dari SIPSN seperti yang dijelaskan pada Subbab 3.4.1. Untuk mengetahui berat kering sampah makanan Kota Padang, digunakan persamaan yang sebelumnya didapatkan dari perhitungan pengeringan pakan. Reduksi sampah Kota Padang jika menggunakan budi daya BSF kemudian dihitung menggunakan persamaan (3.1) berikut.

$$R = W - (W \times WRI) \dots \dots \dots (3.1)$$

Keterangan:

- WRI = Indeks Reduksi Sampah
- W = Jumlah sampah sebelum terdegradasi
- R = Jumlah Residu

Setelah didapatkan nilai massa akhir sampah sisa makanan selama satu tahun di Kota Padang, maka dapat dihitung nilai perkiraan reduksi gas metana di TPA Aie Dingin dengan IPCC *waste model calculation* menggunakan persamaan (2.3), (2.4), (2.5), dan (2.6). Analisis akhir reduksi gas metana terakumulasi dalam satuan Gg (Gigagram) sesuai dengan IPCC 2006, dan dikonversi ke satuan Gg CO_{2e}.

3.3.5.2 Analisis Data Kualitas Briket Arang dan Konsentrasi CO, CO₂, dan PM_{2,5}

Data kualitas briket arang yang didapat dibandingkan dengan SNI 01-6325-2000 tentang Briket Arang Kayu dan SNI 06-3730-1995 Briket Arang Aktif. Nilai baku mutu kualitas briket arang dapat dilihat pada Tabel 2.5. Apabila baku mutu kualitas

briket arang tidak sesuai dengan yang diharapkan (banyak yang tidak memenuhi baku mutu) maka dilakukan rekomendasi penambahan bahan baku berdasarkan literatur dan dicari perbandingan bahan baku briket arang. Perbandingan bahan baku briket arang tersebut dicari menggunakan perhitungan dengan metode *multiple linear regression method* yang diekspresikan dalam bentuk matriks invers (Huda, 2014). Selanjutnya data konsentrasi $PM_{2.5}$, CO, dan CO_2 yang didapat dibandingkan dengan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruang Rumah. Nilai baku mutu kualitas udara di dalam ruangan untuk parameter tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.6**.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Analisis dan pembahasan penelitian ini didasari oleh tujuan penelitian. Nilai *waste reduction index* (WRI) dihitung untuk mengetahui kemampuan larva BSF dalam mereduksi sampah sisa rumah makan. Nilai WRI kemudian digunakan untuk menganalisis seberapa besar gas metana yang dapat direduksi oleh pengolahan sampah dengan BSF. Limbah hasil budi daya BSF berupa bangkai dan kerabang BSF dimanfaatkan sebagai bahan briket arang, dan kualitas briket arang tersebut dievaluasi. Setelah evaluasi kualitas briket arang bangkai dan kerabang BSF, dilanjutkan dengan evaluasi kualitas udara di dalam ruangan pada saat pembakaran briket arang tersebut dengan parameter CO, CO₂, dan PM_{2.5}. Analisis terhadap laju konsumsi bahan bakar juga dilakukan dengan menentukan laju konsumsi bahan bakar. Hasil dan pembahasan harus selaras dengan studi literatur yang telah dilakukan.

4.2 Reduksi Sampah oleh Larva BSF

4.2.1 *Waste Reduction Index* (WRI)

Jenis sampah organik yang digunakan sebagai pakan larva BSF yaitu sampah sisa rumah makan yang telah dihaluskan. Selain berdasarkan jenis makanan yang diberikan, porsi makanan turut berpengaruh terhadap persentase reduksi yang diperoleh (Kroes, 2012). Pakan diberikan sebanyak 100 gram setiap 2 hari pada minggu pertama dan sebanyak 300 gram setiap 2 hari pada minggu kedua. Penentuan nilai *Waste Reduction Index* (WRI) membutuhkan nilai massa kering sampah awal (Diener, *et al.*, 2011), sehingga perlu dilakukan perhitungan kadar air pada sampah yang diberikan. Kadar air rata-rata yang didapatkan pada setelah dilakukan pengujian yaitu sebesar 54,29%. Kadar air yang didapatkan sudah mendekati kadar air pakan optimum yaitu 60-90%. Jika kadar air yang didapatkan terlalu rendah, maka proses pencernaan larva akan terhambat (Sipayung, 2015). Setelah didapatkan nilai kadar air maka dapat dicari nilai massa kering sampah

awal. Rekapitulasi reduksi sampah oleh larva BSF pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 4.1** berikut.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Reduksi Sampah Oleh Larva BSF

Ulangan	Massa Kering Awal (g)	Massa Kering Akhir (g)	Massa Direduksi (g)	Nilai Degradasi	Persentase Degradasi (%)	WRI (%/Hari)
1	694,00	153,00	541,00	0,78	78,00	5,57
2	694,00	140,00	554,00	0,80	79,80	5,70
3	694,00	167,00	527,00	0,76	75,90	5,42
4	694,00	134,00	560,00	0,81	80,70	5,76
5	694,00	145,00	549,00	0,79	79,10	5,65
Rata-rata±SE				0,79±0,008	78,70±0,008	5,62±0,059

Berdasarkan rekapitulasi reduksi sampah oleh larva BSF pada **Tabel 4.1**, pada penelitian ini didapatkan persentase reduksi rata-rata dan nilai WRI rata-rata yang cukup tinggi. Persentase reduksi ini menunjukkan bahwa larva BSF mampu mereduksi sampah sisa rumah makan yang telah dihaluskan sebesar $78,7\pm 0,008\%$ dari massa total sampah. Nilai WRI menunjukkan bahwa larva BSF mampu mereduksi sampah sebesar $5,62\pm 0,059\%$ per hari. **Tabel 4.2** berikut memperlihatkan perbandingan persentase degradasi dan WRI pada penelitian ini dengan penelitian lain.

Tabel 4.2 Perbandingan Persentase Degradasi dan WRI Beberapa Penelitian

Sumber	Jenis Sampah	Feeding Rate (Mg/Larva.Hari)	Persentase Degradasi (%)	WRI (%/Hari)
Hasil Penelitian	Sampah sisa rumah makan	30 (minggu 1)	78,70	5,62
		80 (minggu 2)		
Nur (2022)	Sampah sisa rumah makan	75 (minggu 1) 225 (minggu 2)	42,90	3,06
Pathiassana, et al (2020)	Sampah kantin tanpa perlakuan	100	-	4,09
Sipayung (2015)	Sampah kantin	19	65,00	-
		18	54,00	-
Saragi (2015)	Kombinasi sayur:buah:ikan 40:35:25	20	55,90	-

Berdasarkan **Tabel 4.2** diatas, terdapat perbedaan persentase degradasi dan nilai WRI pada setiap penelitian yang menunjukkan bahwa persentase degradasi dan nilai WRI sangat dipengaruhi oleh *feeding rate* dan jenis sampah yang diberikan kepada larva BSF. *Feeding rate* pada hasil penelitian menunjukkan kemampuan larva BSF dalam mereduksi sampah meningkat hingga hampir 3 kali lipat pada minggu kedua. Persentase degradasi dan nilai WRI yang didapatkan pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan persentase degradasi hasil penelitian Nur (2022) meskipun jenis sampah yang digunakan sama. Hal ini menunjukkan bahwa

larva BSF bekerja lebih optimal dalam mereduksi sampah sisa rumah makan jika menggunakan *feeding rate* 30 mg/larva.hari pada minggu ke-1 dan *feeding rate* 80 mg/larva.hari pada minggu ke-2.

4.2.2 Perhitungan Reduksi Gas Metana di TPA

Sampah sisa makanan merupakan salah satu jenis sampah domestik penyebab terbentuknya gas metana di TPA. Berdasarkan nilai WRI yang didapatkan, larva BSF dinilai mampu untuk mereduksi sampah sisa makanan. Hal ini dapat menjadi solusi untuk mengurangi gas metana yang dihasilkan oleh TPA Aie Dingin. TPA Aie Dingin merupakan TPA yang menggunakan sistem *controlled landfill*. TPA Aie Dingin sudah mempunyai sarana perlindungan lingkungan, salah satunya yaitu pipa gas untuk menyalurkan gas metana ke atmosfer, namun peningkatan tumpukan dan timbulan sampah setiap tahun membuat sarana tersebut sudah tidak dapat berfungsi dengan baik (Arbi, 2014). Perhitungan reduksi gas metana oleh budi daya BSF membutuhkan data massa sampah kering sisa makanan di TPA Aie Dingin. Oleh karena itu diperlukan rumus untuk mencari massa sampah kering tersebut, karena data yang ditemukan merupakan massa basah sampah makanan di Kota Padang. Persamaan (4.1) didasarkan pada hubungan massa kering dan massa basah yang didapatkan pada penelitian ini, yang dapat dilihat pada **Lampiran E**. Rumus persamaan linear yang didapatkan dan perhitungan massa sampah makanan kering yang ada di TPA Aie Dingin berdasarkan data timbulan sampah Kota Padang tahun 2021 adalah sebagai berikut.

$$\text{Rumus Massa Kering} = y = -3,625 + 0,48 X_i \dots \dots \dots (4.1)$$

$$\text{Timbulan Sampah} = 639,41 \text{ ton/hari (SIPSN, 2022)}$$

$$\text{Persentase Sampah Sisa} = 62,80\% \text{ (SIPSN, 2022)}$$

Makanan

$$\text{Massa Awal Sampah Makanan} = 401,55 \text{ ton/hari}$$

(Basah)

$$\text{Massa Kering} = -3,625 + 0,48 (401,55)$$

$$= 189,12 \text{ ton/hari}$$

$$189,12 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} \times 365 \text{ hari}$$

$$\text{Massa Kering dalam Gg (R}_1) = \frac{189,12 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} \times 365 \text{ hari}}{1000 \frac{\text{ton}}{\text{Gg}}}$$

$$= 69,03 \text{ Gg}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, massa kering sampah di TPA Aie Dingin didapatkan sebesar 69,03 Gg. Setelah massa kering sampah didapatkan, maka perhitungan gas metana yang terbentuk dapat dilakukan dengan menggunakan metode IPCC *Guideline* 2006. Berikut perhitungan gas metana yang dihasilkan oleh TPA Aie Dingin tanpa pengolahan BSF.

$$\begin{aligned}
 \text{DDOC}_m \text{ Terdeposit 1 tahun} &= R_1 \times \text{DOC} \times \text{DOCf} \times \text{MCF} \\
 &= 69,03 \text{ Gg} \times 0,15 \times 0,5 \times 0,5 \\
 &= 2,59 \text{ Gg} \\
 \text{DDOC}_m \text{ Terdekomposisi 1 tahun} &= \text{DDOC}_m \text{ Terdeposit} \times (1 - e^{-k*}) \\
 &= 2,59 \text{ Gg} \times (1 - e^{-0,347}) \\
 \text{*nilai k didapat dari perhitungan pada lampiran E} &= 0,76 \text{ Gg} \\
 \text{Lo} &= \text{DDOC}_m \text{ Terdekomposisi} \times F \times (16/12) \\
 &= 0,76 \text{ Gg} \times 0,5 \times (16/12) \\
 &= 0,51 \text{ Gg} \\
 \text{CH}_4 \text{ pada tahun 2021 (Januari-Desember (1 tahun))} &= [\text{Lo} \times T - R_T] \times (1 - \text{OX}) \\
 &= [0,51 \times 1 - 0] \times (1 - 0,1) \\
 &= 0,91 \text{ Gg CH}_4 \\
 &= 25,51 \text{ Gg CO}_2\text{e}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan, maka didapatkan potensi gas metana terbentuk pada tahun 2021 tanpa pengurangan sampah oleh budi daya BSF sebesar 0,91 Gg CH₄ atau sebesar 25,51 Gg CO₂e. Selanjutnya dilakukan perhitungan gas metana yang dihasilkan oleh TPA Aie Dingin jika melakukan pengolahan sampah organik terlebih dahulu dengan larva BSF. Perhitungan dilakukan menggunakan nilai WRI yang telah didapatkan dari hasil analisis WRI yang telah dilakukan. Perhitungan gas metana yang dihasilkan oleh TPA Aie Dingin dengan pengurangan sampah oleh budi daya BSF adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Reduksi Sampah} &= W - D \times W \\
 &= W - (t \times \text{WRI}) \times W \\
 &= 189,12 \text{ ton/hari} - ((14 \text{ hari} \times 5,62\%/\text{hari}) \times 189,12 \text{ ton/hari}) \\
 &= 40,29 \text{ ton/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Kering dalam Gg (R}_2\text{)} &= \frac{40,29 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} \times 365 \text{ hari}}{1000 \frac{\text{ton}}{\text{Gg}}} \\
 &= 14,71 \text{ Gg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Selisih Massa Kering Sebelum dan Sesudah Pengolahan BSF} &= R_1 - R_2 \\
 &= 69,03 \text{ Gg} - 14,71 \text{ Gg} \\
 &= 54,32 \text{ Gg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{DDOC}_m \text{ Terdeposit 1 tahun} &= R_2 \times \text{DOC} \times \text{DOCf} \times \text{MCF} \\
 &= 14,71 \text{ Gg} \times 0,15 \times 0,5 \times 0,5 \\
 &= 0,55 \text{ Gg}
 \end{aligned}$$

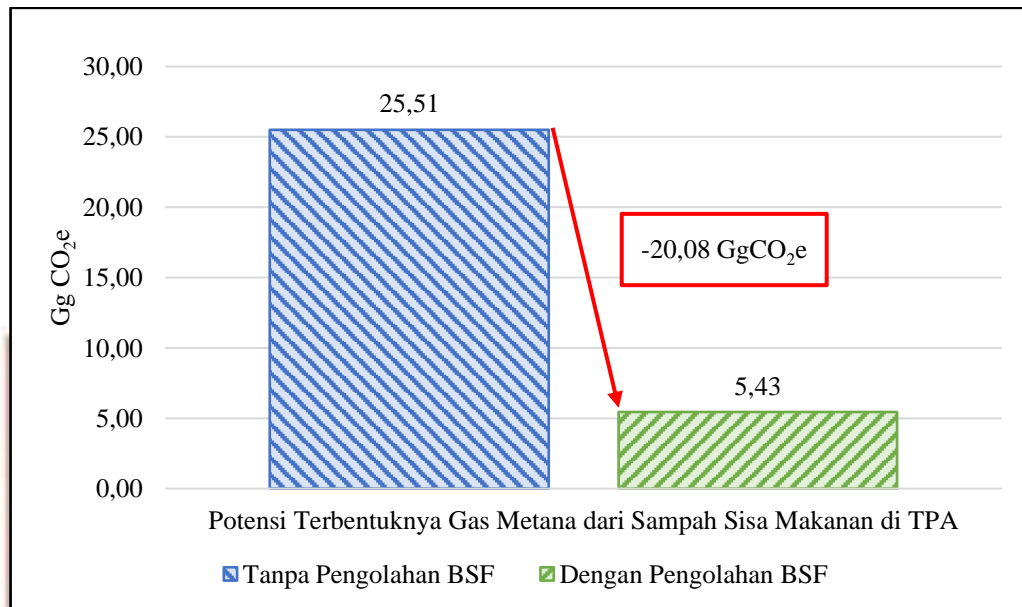
$$\begin{aligned}
 \text{DDOC}_m \text{ Terdekomposisi 1 tahun} &= \text{DDOC}_m \text{ Terdeposit} \times (1 - e^{-k}) \\
 &= 0,55 \text{ Gg} \times (1 - e^{-0,347}) \\
 \text{*nilai k didapat dari perhitungan pada lampiran E} &= 0,16 \text{ Gg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lo} &= \text{DDOC}_m \text{ Terdekomposisi} \times F. (16/12) \\
 &= 0,16 \text{ Gg} \times 0,5 \times (16/12) \\
 &= 0,11 \text{ Gg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CH}_4 \text{ pada tahun 2021 (Januari-Desember (1 tahun))} &= [L_{OT} - R_T] \times (1 - OX) \\
 &= [0,11 - 0] \times (1 - 0,1) \\
 &= 0,19 \text{ Gg CH}_4 \\
 &= 5,43 \text{ Gg CO}_2\text{e}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Potensi Reduksi CH}_4 \text{ terbentuk pada tahun 2021} &= \text{CH}_4 \text{ tanpa pengolahan BSF} - \text{CH}_4 \text{ dengan pengolahan BSF} \\
 &= 0,91 \text{ Gg CH}_4 - 0,19 \text{ Gg CH}_4 \\
 &= 0,72 \text{ Gg CH}_4 \\
 &= 20,08 \text{ Gg CO}_2\text{e}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, massa sampah kering sampah berkurang sebesar 54,32 Gg jika dilakukan pengolahan BSF (dalam kondisi optimal) sebelum sampah ditimbun di TPA. Potensi gas metana terbentuk pada tahun 2021 jika dilakukan pengurangan sampah oleh budi daya BSF sebesar 0,19 Gg CH₄ atau sebesar 5,43 Gg CO_{2e}. Sehingga, potensi gas metana terbentuk berkurang sebesar 0,72 Gg CH₄ atau sebesar 20,08 Gg CO_{2e}. Oleh karena itu, budi daya BSF dapat dijadikan sebagai salah satu solusi untuk mengurangi sampah organik yang tertimbun di TPA sekaligus dalam mereduksi gas metana yang dihasilkan oleh TPA. Lebih jelasnya perbandingan gas metana yang dihasilkan oleh TPA Aie Dingin tanpa pengolahan BSF dan dengan pengolahan BSF dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1 Grafik Reduksi Gas Metana (CH₄)

4.3 Hasil Uji Kualitas Briket Arang Bangkai dan Kerabang BSF

Pembuatan briket arang bangkai dan kerabang BSF dilakukan dengan dua perlakuan, yaitu menggunakan perekat kanji 10% dan perekat kanji 15%. Uji kualitas briket arang dengan parameter kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, kadar karbon terikat, kerapatan, dan nilai kalor, dilakukan berdasarkan prosedur pengukuran sesuai SNI 06-3730-1995 Tentang Arang Aktif Teknis dan SNI 01-6235-2000 Tentang Briket Arang Kayu. Hasil uji kualitas kemudian dibandingkan dengan baku mutu pada SNI tersebut. Tabulasi hasil pengujian kualitas briket arang bangkai dan kerabang BSF dengan perekat tepung kanji pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3 Hasil Uji Kualitas Briket Arang Bangkai dan Kerabang BSF

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Briket Arang dengan Perekat Kanji	
				10%	15%
1.	Kadar air	%	Maks. 8*	4,01±0,045	3,53±0,035
2.	Kadar abu	%	Maks. 15*	22,54±0,040 ^a	22,49±0,065 ^a
3.	Kadar Zat Terbang	%	Maks. 8*	60,09±0,060 ^a	57,76±0,260 ^a
4.	Kadar Karbon Terikat	%	Min. 65**	13,32±0,055 ^a	16,23±0,230 ^a
5.	Kerapatan	g/cm ³	0,45–0,55**	0,56±0 ^a	0,55±0,005
6.	Kalor	Kal/g	Min. 5.000*	3.837,85±0,495 ^a	3.933,52±3,895 ^a

Keterangan : * = SNI 01-6325-2000

** = SNI 01-3730-1995

a = Tidak memenuhi baku mutu

Berdasarkan **Tabel 4.3**, nilai kadar air memenuhi baku mutu SNI 01-6235-2000. Kadar air briket arang dengan perekat kanji 10% lebih tinggi dibandingkan dengan

briket arang berpekat kanji 15%, hal ini dapat disebabkan oleh rata atau tidaknya pencampuran bahan briket dan perekat dan kesempurnaan dalam proses pengeringan briket (Anizar, *et al.*, 2020). Kadar air yang rendah dapat mempercepat proses pembakaran karbon dari briket serta meminimalisir asap yang dihasilkan dari proses penguapan air (Medio, 2021). Kadar air yang rendah juga akan meningkatkan nilai kalor dan memudahkan briket untuk menyala (Sandri & Hadi, 2016).

Abu merupakan bagian yang tersisa dari proses pembakaran briket arang. Kadar abu dari briket baik dengan perekat kanji 10% dan 15% sama-sama tidak memenuhi baku mutu SNI 01-6235-2000. Tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kadar abu briket berpekat kanji 10% dengan 15%. Kadar abu yang tinggi dapat disebabkan oleh kadar abu bahan yang cukup tinggi, sehingga meskipun telah dilakukan karbonisasi kadar abu tetap tidak memenuhi baku mutu. Kadar abu briket arang yang tinggi juga dapat disebabkan oleh kurang sempurnanya proses karbonisasi. Kadar abu yang tinggi akan memperburuk kualitas briket dan menyebabkan nilai kalor yang rendah.

Kadar zat terbang yang didapatkan pada penelitian ini yaitu sebesar $60,09 \pm 0,060\%$ untuk briket arang dengan 10% perekat kanji dan $57,76 \pm 0,260\%$ untuk briket arang dengan perekat kanji 15%. Kadar zat terbang untuk kedua variasi briket arang tersebut tidak memenuhi baku mutu SNI 01-6325-2000. Kadar zat terbang briket arang berpekat kanji 15% didapatkan lebih rendah dibandingkan dengan kadar zat terbang briket arang berpekat kanji 10%, hal ini dapat disebabkan oleh nilai kadar air. Kadar zat terbang dipengaruhi oleh kadar air, kadar air yang rendah maka kadar zat terbang juga akan rendah. Kadar zat terbang juga dapat dipengaruhi oleh sempurna atau tidaknya proses karbonisasi bahan baku. Kadar zat terbang yang tinggi akan menyebabkan banyaknya asap yang dihasilkan pada saat penyalaan briket arang dan memperburuk kualitas briket arang (Dewi, *et al.*, 2020).

Kadar karbon terikat didapatkan setelah mengetahui nilai kadar air, kadar abu, dan kadar zat terbang. Kadar karbon terikat briket arang dengan perekat kanji 15% didapatkan sebesar $16,23 \pm 0,230\%$, yang mana lebih tinggi dibandingkan dengan briket arang berpekat kanji 10% (13,36%), namun kadar karbon terikat kedua

variasi briket tersebut tidak memenuhi baku mutu SNI 01-3730-1995. Kadar karbon terikat merupakan faktor utama dalam menentukan kualitas bahan bakar biomassa, jika kadar karbon terikat tinggi maka nilai kalor dari bahan bakar tersebut juga tinggi.

Nilai kerapatan berdasarkan hasil pengujian yaitu sebesar $0,56 \text{ g/cm}^3$ untuk briket arang dengan perekat kanji 10% dan sebesar $0,55 \text{ g/cm}^3$ untuk briket arang dengan perekat kanji 15%. Nilai kerapatan untuk briket arang dengan perekat kanji 15% telah memenuhi baku mutu SNI 01-3730-1995. Nilai kerapatan memiliki pengaruh terhadap proses pembakaran briket arang, jika nilai kerapatan briket tinggi akan menyebabkan proses awal penyalaan briket semakin lama (Sirajuddin, 2021)

Nilai kalor dipengaruhi oleh nilai kadar karbon terikat, jika kadar karbon terikat tinggi maka nilai kalor yang didapatkan juga tinggi. Berdasarkan hasil pengujian, nilai kalor yang didapatkan yaitu sebesar $3.837,85 \pm 0,495 \text{ kal/g}$ untuk briket arang berperekat kanji 10% dan sebesar $3.933,52 \pm 3,895 \text{ kal/g}$ untuk briket arang berperekat kanji 15%. Nilai kalor yang didapatkan tidak memenuhi baku mutu SNI 01-6235-2000. Nilai kalor pada briket adalah besaran energi dalam bentuk panas yang dilepaskan pada saat pembakaran (Medio, 2021). Nilai kalor telah mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan nilai kalor bahan baku masing-masingnya, hal ini dikarenakan menggabungkan dua atau lebih jenis biomassa seperti yang dilakukan pada penelitian ini dapat meningkatkan nilai kalor (Suhartoyo & Sriyanto, 2017).

Berdasarkan **Tabel 4.3** dapat dilihat bahwa hanya parameter kadar air yang sesuai standar baku mutu untuk kedua variasi briket arang. Sementara itu untuk parameter kerapatan hanya briket arang dengan variasi perekat kanji 15% yang memenuhi standar baku mutu. Hasil uji kualitas briket arang dengan variasi perekat kanji 15% memiliki nilai yang lebih mendekati baku mutu, sehingga terpilih untuk dilanjutkan ke tahap uji *Water Boiling Test* (WBT).

4.4 Hasil Uji *Water Boiling Test* (WBT)

Uji WBT dilakukan untuk menentukan laju konsumsi bahan bakar briket arang bangkai dan kerabang BSF. Uji ini dilakukan secara runut dimulai dari fase *cold start*, fase *hot start*, dan fase *simmering*. Uji WBT fase *cold start* awalnya dilakukan

dengan menggunakan massa briket arang 250 gram, namun air tidak dapat mendidih sehingga ditingkatkan menjadi 300 gram. Massa briket 300 gram juga tidak dapat mendidihkan air, sehingga massa briket ditingkatkan lagi menjadi 400 gram. Massa briket arang 400 gram masih tidak mampu mendidihkan air meskipun massa 400 gram tersebut sudah hampir melebihi 2/3 ruang pembakaran kompor biomassa seperti yang dilihat pada **Gambar 4.2**.

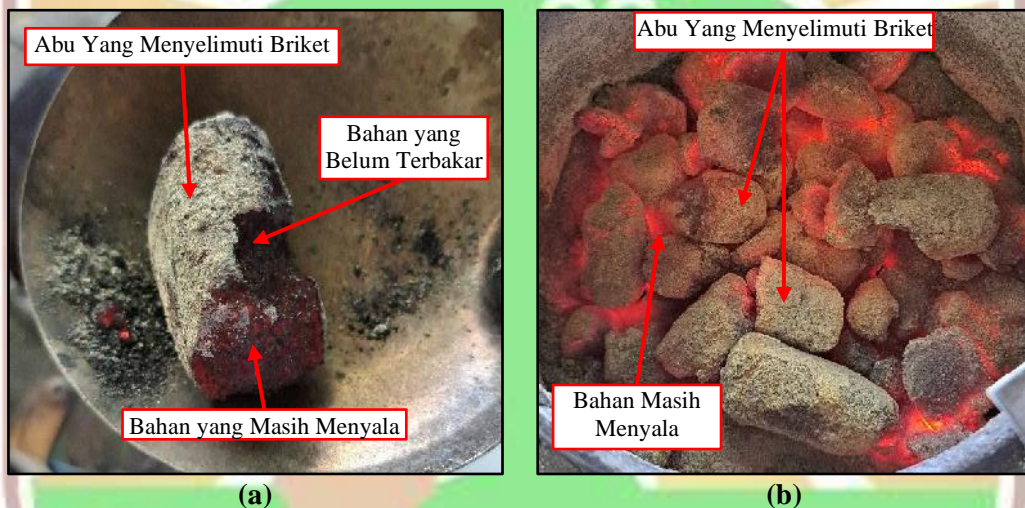


Gambar 4.2 Briket Arang Memenuhi Ruang Pembakaran Kompor Biomassa

Briket arang mampu menyala seperti yang terlihat pada **Gambar 4.3**, namun api yang dihasilkan tidak terlalu besar dan tidak mampu bertahan lama sehingga titik didih air tidak tercapai. Hal ini disebabkan oleh briket arang tidak terbakar sempurna. **Gambar 4.4 (a)** menunjukkan briket arang yang bagian dalamnya masih terdapat bahan yang belum terbakar dan bahan yang masih menyala tetapi tertutup oleh kerak abu sehingga tidak dapat menghasilkan api. Hal ini disebabkan oleh tingginya kadar abu briket arang campuran bangkai dan kerabang BSF, sesuai penelitian Anizar, *et al.* (2020) yang menyebutkan bahwa kadar abu tinggi dapat menyebabkan terbentuknya kerak pada briket sehingga bahan bakar tidak dapat terbakar.



Gambar 4.3 Api yang Dihasilkan oleh Briket Arang



Gambar 4.4 (a) dan (b) Briket Arang yang Tidak Terbakar Sempurna

Briket arang yang tidak dapat terbakar sempurna mengakibatkan terjadinya penumpukan campuran abu dan bahan bakar yang belum terbakar di dalam ruang pembakaran kompor biomassa seperti **Gambar 4.4 (b)**. Oleh karena itu, uji WBT tidak dapat dilanjutkan untuk fase berikutnya. Penimbangan sisa bahan bakar tidak dapat dilakukan karena terdapat bagian bahan bakar yang masih menyala seperti yang terlihat pada **Gambar 4.4**, sehingga tidak didapatkan data yang diperlukan untuk mendapatkan nilai laju konsumsi bahan bakar briket arang.

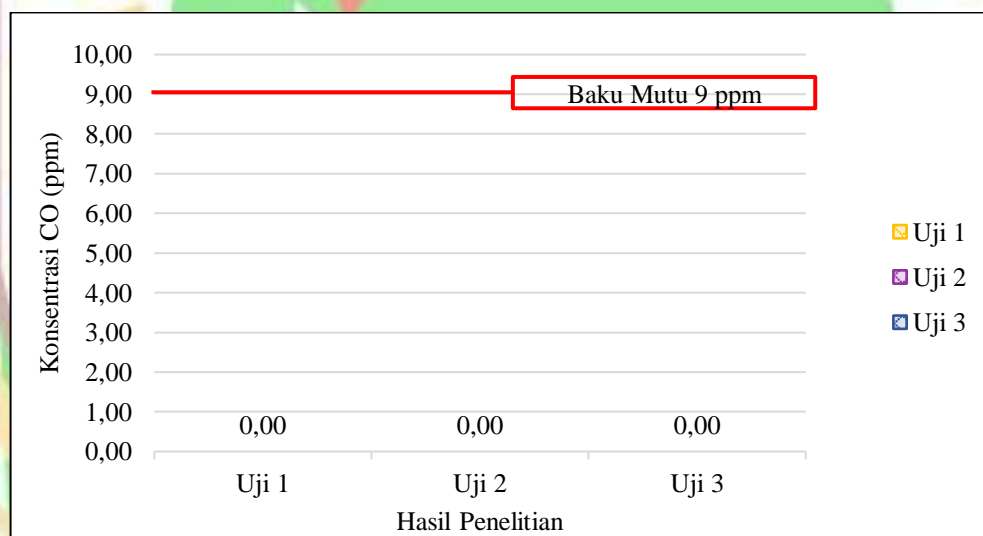
4.5 Hasil Uji Kualitas Udara di dalam Ruangan

Uji kualitas udara dalam ruangan pada penelitian ini dilakukan sebelum pembakaran briket arang atau pada fase *background* dan pada saat pembakaran briket arang menggunakan kompor biomassa. Pengukuran pada fase *background*

dilakukan untuk mengetahui nilai parameter CO, CO₂, dan PM_{2,5} sebelum dilakukan pembakaran briket arang menggunakan kompor biomassa. Pengukuran kualitas udara di dalam ruangan saat pembakaran biomassa dilakukan ketika uji WBT fase *cold start* untuk massa briket arang 250 gram, 300 gram, dan 400 gram.

4.5.1 Konsentrasi Gas CO Sebelum dan Saat Pembakaran Briket Arang

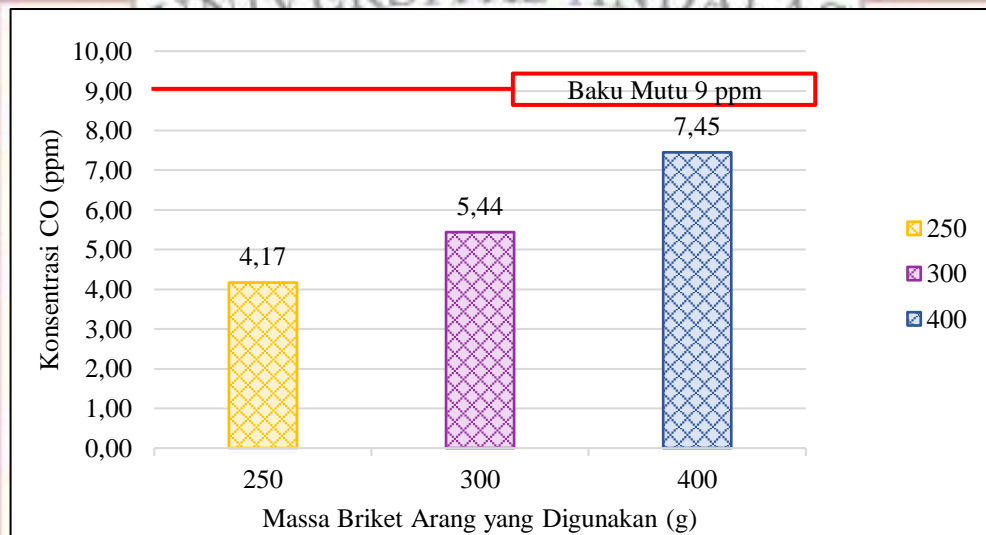
Pengukuran gas CO pada fase *background* dilakukan selama 1 jam. Pengukuran dilakukan di dalam ruang isolasi penelitian tanpa ada aktivitas. Pengukuran dilakukan menggunakan alat *portable air quality monitor* CO sejalan dengan pengukuran gas CO₂ secara *direct reading*. Data konsentrasi gas CO yang didapatkan kemudian dikonversi menjadi data 8 jam agar dapat dibandingkan dengan baku mutu pada Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011. Konsentrasi gas CO pada fase *background* dapat dilihat pada **Gambar 4.5**.



Gambar 4.5 Konsentrasi Gas CO Fase Background

Konsentrasi gas CO yang didapatkan pada pengujian bahan bakar briket arang menggunakan kompor biomassa mengalami peningkatan terhadap konsentrasi pada pengujian fase *background*. Konsentrasi CO yang dihasilkan juga mengalami peningkatan terhadap massa briket arang yang digunakan. Nilai konsentrasi CO tertinggi dihasilkan oleh pembakaran briket arang sebanyak 400 gram yaitu sebesar 7,45 ppm. Banyaknya briket arang yang dibakar dalam satu kali pengujian memengaruhi lama waktu pengujian, semakin lama waktu pengujian menyebabkan konsentrasi CO yang dihasilkan semakin tinggi. Tingginya kadar zat terbang briket

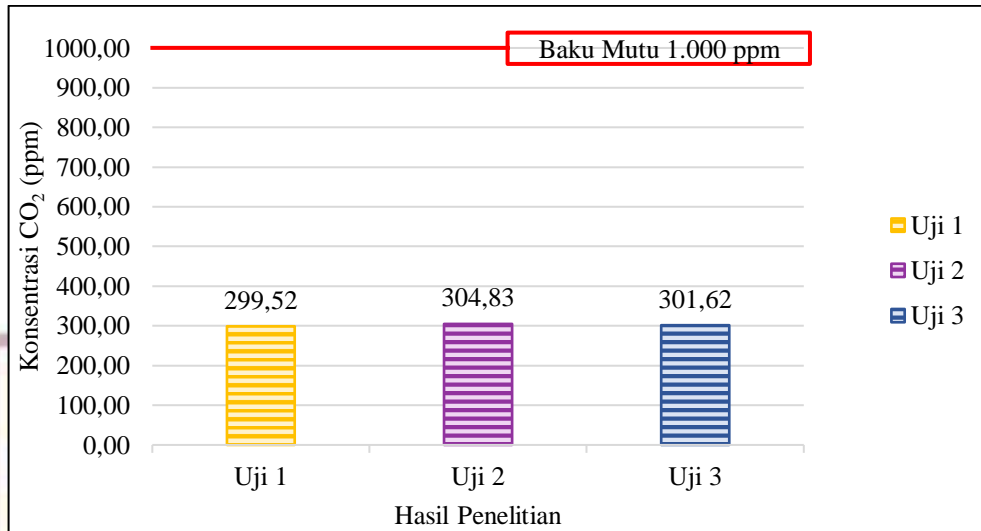
arang juga menyebabkan tingginya konsentrasi CO yang dihasilkan akibat pembakaran yang tidak sempurna. Konsentrasi CO pada saat pembakaran briket arang memenuhi baku mutu Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011. Konsentrasi gas CO pada saat pembakaran briket arang bangkai dan kerabang BSF pada fase *cold start* dapat dilihat pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4.6 Konsentrasi Gas CO Fase Cold Start

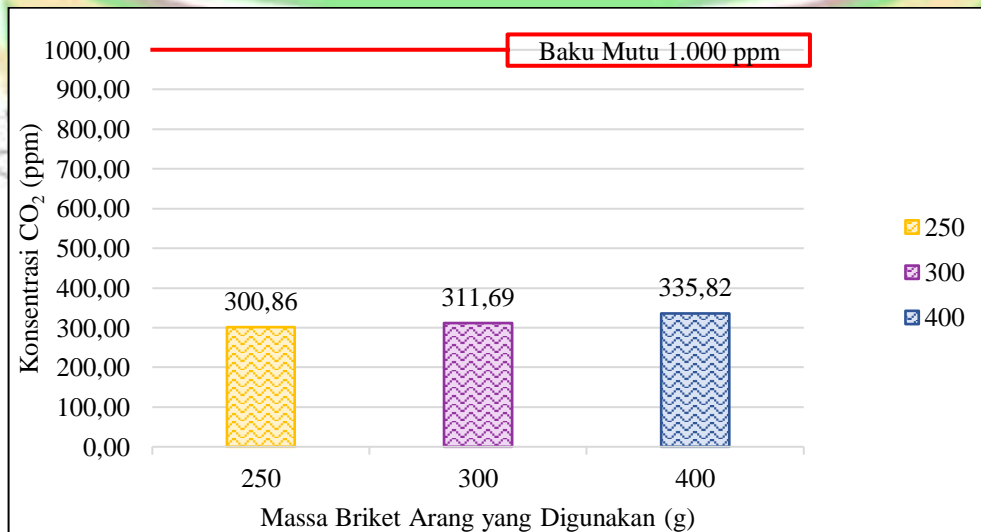
4.5.2 Konsentrasi Gas CO₂ Sebelum dan Saat Pembakaran Briket Arang

Pengukuran konsentrasi gas CO₂ pada fase *background* dilakukan selama 1 jam, sejalan dengan pengukuran gas CO. Pengukuran dilakukan di dalam ruang isolasi penelitian secara *direct reading* menggunakan alat *portable air quality monitor* CO₂. Sama halnya dengan konsentrasi CO, data konsentrasi CO₂ yang didapatkan dikonversi menjadi data 8 jam untuk dibandingkan dengan baku mutu. Berdasarkan hasil pengukuran selama pengujian didapatkan nilai konsentrasi gas CO₂ fase *background* yang dapat dilihat pada **Gambar 4.7** berikut.



Gambar 4.7 Konsentrasi Gas CO₂ Fase *Background*

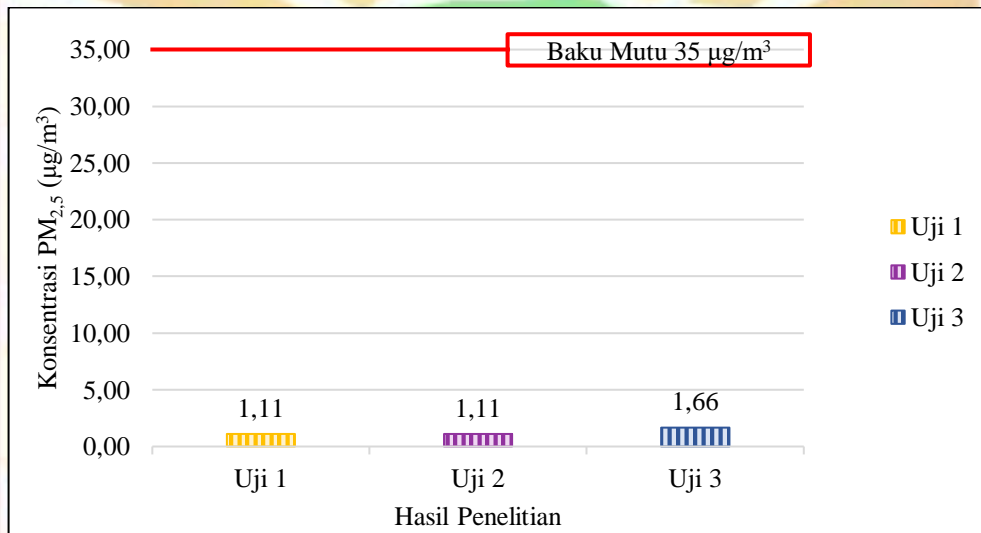
Konsentrasi gas CO₂ mengalami peningkatan terhadap konsentrasi pada pengujian fase *background* dan terhadap peningkatan massa briket arang yang digunakan pada saat pembakaran bahan bakar. Konsentrasi CO₂ tertinggi dihasilkan oleh pembakaran briket arang sebanyak 400 gram yaitu sebesar 335,82 ppm. Saat pembakaran bahan bakar, terjadi reaksi pembakaran berupa arang karbon dengan oksigen pada permukaan partikel yang menghasilkan CO₂ dan air. Semakin banyak bahan bakar yang terbakar sempurna, konsentrasi CO₂ yang dihasilkan semakin tinggi. Konsentrasi CO₂ pada saat pembakaran briket arang memenuhi baku mutu Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011. Konsentrasi gas CO₂ pada saat pembakaran briket arang bangkai dan kerabang BSF pada fase *cold start* dapat dilihat pada **Gambar 4.8**.



Gambar 4.8 Konsentrasi Gas CO₂ Fase *Cold Start*

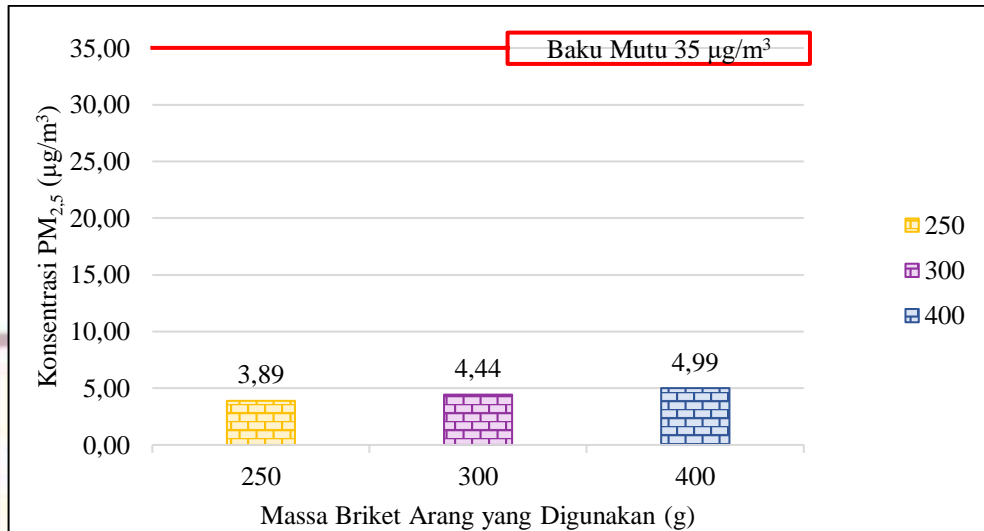
4.5.3 Konsentrasi PM_{2,5} Sebelum dan Saat Pembakaran Briket Arang

Pengukuran konsentrasi PM_{2,5} pada fase *background* dilakukan selama 1 jam, sejalan dengan pengukuran gas CO dan gas CO₂. Pengukuran dilakukan di dalam ruang isolasi penelitian menggunakan alat LVAS dengan laju aliran 3,5 L/menit. Konsentrasi PM_{2,5} yang didapatkan dikonversi menjadi data 24 jam sesuai dengan persyaratan baku mutu. Berdasarkan hasil pengukuran selama pengujian didapatkan nilai konsentrasi PM_{2,5} fase *background* yang dapat dilihat pada **Gambar 4.9** berikut.



Gambar 4.9 Konsentrasi PM_{2,5} Fase *Background*

Konsentrasi PM_{2,5} mengalami peningkatan pada pembakaran briket arang 400 gram, yaitu sebesar 4,99 µg/m³. Seperti yang terlihat pada **Gambar 4.10**, konsentrasi PM_{2,5} yang didapatkan setelah analisis gravimetri sangat kecil jika dibandingkan dengan baku mutu. PM_{2,5} dari pembakaran biomassa sebagian besar disebabkan oleh keberadaan asap sebagai hasil samping pembakaran. PM_{2,5} juga disebabkan oleh *black carbon* yaitu karbon yang tidak terbakar secara keseluruhan pada briket arang. Filter *fiber glass* yang menguning seperti **Gambar 4.11** membuktikan bahwa terdapat *black carbon* pada saat pembakaran briket arang bangkai dan kerabang BSF.



Gambar 4.10 Konsentrasi PM_{2,5} Fase *Cold Start*



Gambar 4.11 *Filter Fiber Glass* Setelah Uji WBT

4.6 Studi Literatur dan Analisis Perhitungan Pencampuran Bahan Briket Bangkai dan Kerabang BSF dengan Arang Tempurung Kelapa

Berdasarkan hasil penelitian, disimpulkan bahwa limbah budi daya BSF yaitu bangkai dan kerabang BSF kurang baik untuk dijadikan bahan briket arang. Namun, melihat potensi bahan baku bangkai dan kerabang BSF, maka dilakukan studi literatur dan analisis perhitungan pencampuran bahan baku bangkai dan kerabang BSF dengan bahan lainnya untuk dijadikan briket arang. Bahan baku yang sudah umum dijadikan bahan briket oleh masyarakat diantaranya yaitu arang tempurung kelapa dan arang cangkang kelapa sawit, karena mudah ditemukan dan banyak dijual di pasaran. Selain itu juga ditemukan beberapa penelitian yang memanfaatkan arang tempurung nipah sebagai bahan briket. **Tabel 4.4** berikut

memperlihatkan perbandingan kualitas dari arang tempurung kelapa, arang cangkang kelapa sawit, dan arang tempurung nipah berdasarkan literatur.

Tabel 4.4 Kualitas Arang Berdasarkan Literatur

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Arang		
				Tempurung Kelapa ¹	Cangkang Kelapa Sawit ²	Tempurung Nipah ²
1.	Kadar air	%	Maks. 15*	2,22	4,02	1,20
2.	Kadar abu	%	Maks. 10*	1,50	17,46	15,00
3.	Kadar Zat Terbang	%	Maks. 25*	7,36	20,44	20,60
4.	Kadar Karbon Terikat	%	Min. 65*	88,92	62,10	62,88
5.	Kalor	Kal/g	Min. 5.000**	7.428,80	6.118,00	6.485,00

Keterangan : * = SNI 01-3730-1995

** = SNI 01-6325-2000

1 = Baygan, et al. (2019)

2 = Radam, et al. (2021)

Berdasarkan **Tabel 4.4**, arang tempurung kelapa memiliki nilai kalor yang paling tinggi diantara ketiga jenis arang. Arang tempurung kelapa juga memenuhi baku mutu untuk semua parameter kualitas arang. Sementara itu arang cangkang kelapa sawit dan arang tempurung nipah memiliki kadar zat terbang yang cukup tinggi dan kadar abu dari kedua arang ini tidak memenuhi baku mutu. Nilai kadar abu dan kadar zat terbang yang tinggi menyebabkan nilai kadar karbon terikat kedua arang rendah dan tidak memenuhi baku mutu. Berdasarkan hal ini, maka terpilihlah arang tempurung kelapa sebagai bahan campuran yang akan dianalisis lebih lanjut dengan perhitungan. Berdasarkan penelitian Huda (2014), persamaan nilai kalor didapatkan berdasarkan data kualitas bahan baku dengan menggunakan *multiple linear regression method*. *Multiple linear regression method* berfungsi untuk memperkirakan hubungan antara variabel dependen kuantitatif dengan dua atau lebih variabel independen (Montgomery, et al., 2006). Pada penelitian ini bahan baku yang digunakan yaitu bangkai BSF, kerabang BSF, tepung kanji, dan tempurung kelapa. Koefisien regresi dapat dikalkulasikan menggunakan metode matriks secara manual. Tabel data kualitas bahan baku yang akan digunakan pada perhitungan ini dapat dilihat pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5 Data Kualitas Bahan Baku

Bahan Baku	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Zat Terbang (%)	Kadar Karbon Terikat (%)	Nilai Kalor (kal/g)
Kerabang BSF	12,11	14,79	62,65	10,45	3.734
Bangkai BSF	6,97	31,42	57,94	3,67	3.343
Tepung Kanji	16,55	0,15	80,77	2,53	3.437
Tempurung Kelapa	2,22	1,50	7,36	88,92	7.428,80

Perhitungan dimulai dengan menuliskan data pada **Tabel 4.5** dalam bentuk matriks. Koefisien kadar air disimbolkan sebagai A, koefisien kadar abu disimbolkan sebagai B, koefisien kadar zat terbang disimbolkan sebagai C, dan koefisien kadar karbon terikat disimbolkan sebagai D. Persamaan nilai kalor adalah **(4.2)** hingga **(4.5)**.

$$12,11A + 14,79B + 62,65C + 10,45D = 3.734 \dots\dots\dots (4.2)$$

$$6,97A + 31,42B + 57,94C + 3,67D = 3.343 \dots\dots\dots (4.3)$$

$$16,55A + 0,15B + 80,77C + 2,53D = 3.437 \dots\dots\dots (4.4)$$

$$2,22A + 1,50B + 7,36C + 88,92D = 7.428,80 \dots\dots\dots (4.5)$$

Persamaan **(4.2)** hingga **(4.5)** dalam bentuk matriks adalah sebagai berikut.

$$\begin{pmatrix} 12,11 & 14,79 & 62,65 & 10,45 \\ 6,97 & 31,42 & 57,94 & 3,67 \\ 16,55 & 0,15 & 80,77 & 2,53 \\ 2,22 & 1,50 & 7,36 & 88,92 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.734 \\ 3.343 \\ 3.437 \\ 7.428,80 \end{pmatrix}$$

Nilai A, B, C, dan D dicari dengan menggunakan metode invers. Jika

$$\begin{pmatrix} 12,11 & 14,79 & 62,65 & 10,45 \\ 6,97 & 31,42 & 57,94 & 3,67 \\ 16,55 & 0,15 & 80,77 & 2,53 \\ 2,22 & 1,50 & 7,36 & 88,92 \end{pmatrix} \text{ adalah matriks E dan } E^{-1} \text{ adalah invers matriks E,}$$

maka:

$$E^{-1} \times E \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{pmatrix} = E^{-1} \times \begin{pmatrix} 3.734 \\ 3.343 \\ 3.437 \\ 7.428,80 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,672 & -0,312 & -0,292 & -0,058 \\ 0,106 & -0,017 & -0,069 & -0,010 \\ -0,138 & 0,064 & 0,072 & 0,011 \\ -0,007 & 0,003 & 0,002 & 0,012 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 3.734 \\ 3.343 \\ 3.437 \\ 7.428,80 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 31,7568 \\ 27,5319 \\ 27,8409 \\ 79,9108 \end{pmatrix}$$

Didapatkan nilai koefisien A = 31,7568, B = 27,5319, C = 27,8409, dan D = 79,9108, dengan persamaan nilai kalor sebagai berikut.

$$\text{Nilai Kalor} = 31,7568A + 27,5319B + 27,8409C + 79,9108D \dots\dots\dots (4.6)$$

Selanjutnya dilakukan pencarian persentase kualitas briket arang bangkai BSF, kerabang BSF, dan tempurung kelapa berperekat tepung kanji dengan menggunakan metode *trial and error*, dengan ketentuan angka yang dimasukkan dalam perhitungan metode *trial and error* ini merupakan angka yang memenuhi atau yang paling mendekati baku mutu SNI 01-6235-2000 dan SNI 06-3730-1995. Setelah dilakukan perhitungan *trial and error* maka didapatkan kadar air sebesar 3,8273%, kadar abu sebesar 5,8075%, kadar zat terbang sebesar 18,6811%, kadar karbon terikat sebesar 71,6841%, dan nilai kalor sebesar 6.529,86 kal/g. Setelah itu dicari perbandingan masing-masing bahan sesuai kualitas bahan baku pada **Tabel 4.5** dengan persamaan (4.7) hingga (4.10).

$$12,11W + 6,97X + 16,55Y + 2,22Z = 3,8273 \dots\dots\dots (4.7)$$

$$14,79W + 31,42X + 0,15Y + 1,5Z = 5,8075 \dots\dots\dots (4.8)$$

$$62,65W + 57,94X + 80,77Y + 7,36Z = 18,6811 \dots\dots\dots (4.9)$$

$$10,45W + 3,67X + 2,53Y + 88,92Z = 71,6841 \dots\dots\dots (4.10)$$

Kerabang BSF disimbolkan sebagai W, bangkai lalat BSF disimbolkan sebagai X, tepung kanji disimbolkan sebagai Y, dan tempurung kelapa disimbolkan sebagai Z. Persamaan (4.7) hingga (4.10) dalam bentuk matriks adalah sebagai berikut.

$$\begin{pmatrix} 12,11 & 6,97 & 16,55 & 2,22 \\ 14,79 & 31,42 & 0,15 & 1,50 \\ 62,65 & 57,94 & 80,77 & 7,36 \\ 10,45 & 3,67 & 2,53 & 88,92 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} W \\ X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3,8273 \\ 5,8075 \\ 18,6811 \\ 71,6841 \end{pmatrix}$$

Nilai W, X, Y, dan Z dicari dengan menggunakan metode invers. Jika

$$\begin{pmatrix} 12,11 & 6,97 & 16,55 & 2,22 \\ 14,79 & 31,42 & 0,15 & 1,50 \\ 62,65 & 57,94 & 80,77 & 7,36 \\ 10,45 & 3,67 & 2,53 & 88,92 \end{pmatrix} \text{ adalah matriks } F \text{ dan } F^{-1} \text{ adalah invers matriks } F,$$

maka:

$$F^{-1} \times F \begin{pmatrix} W \\ X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = F^{-1} \times \begin{pmatrix} 3,8273 \\ 5,8075 \\ 18,6811 \\ 71,6841 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} W \\ X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,672 & 0,106 & -0,138 & -0,007 \\ -0,312 & -0,017 & 0,064 & 0,003 \\ -0,292 & -0,069 & 0,072 & 0,002 \\ -0,058 & -0,010 & 0,011 & 0,012 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 3,8273 \\ 5,8075 \\ 18,6811 \\ 71,6841 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} W \\ X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,1 \\ 0,1 \\ 0,01 \\ 0,79 \end{pmatrix}$$

Didapatkan nilai koefisien $W = 0,1$, $X = 0,1$, $Y = 0,01$, dan $Z = 0,79$. Nilai koefisien ini dapat digunakan sebagai perbandingan bahan baku dengan hasil *proximate analysis* sesuai dengan persamaan (4.6). Sehingga perbandingan bahan baku briket arang bangkai BSF, kerabang BSF, dan tempurung kelapa berperekat tepung kanji dapat dilihat pada **Tabel 4.6** berikut.

Tabel 4.6 Perbandingan Bahan Baku Briket Arang Berdasarkan Perhitungan

Bahan Baku	Perbandingan	
	Desimal	Persentase (%)
Kerabang BSF (W)	0,1	10
Bangkai BSF (X)	0,1	10
Tepung Kanji (Y)	0,01	1
Tempurung Kelapa (Z)	0,79	79

Maka disimpulkan dengan perbandingan pada **Tabel 4.6** diperkirakan didapatkan hasil *proximate analysis* briket arang bangkai BSF, kerabang BSF, dan tempurung kelapa berperekat tepung kanji sesuai dengan persamaan (4.6) yaitu kadar air sebesar 3,8273%, kadar abu sebesar 5,8075%, kadar zat terbang sebesar 18,6811%, kadar karbon terikat sebesar 71,6841%, dan nilai kalor sebesar 6.529,86 kal/g. *Proximate analysis* dan nilai kalor yang didapatkan dari perhitungan ini telah memenuhi baku mutu SNI 01-6235-2000 dan SNI 06-3730-1995.

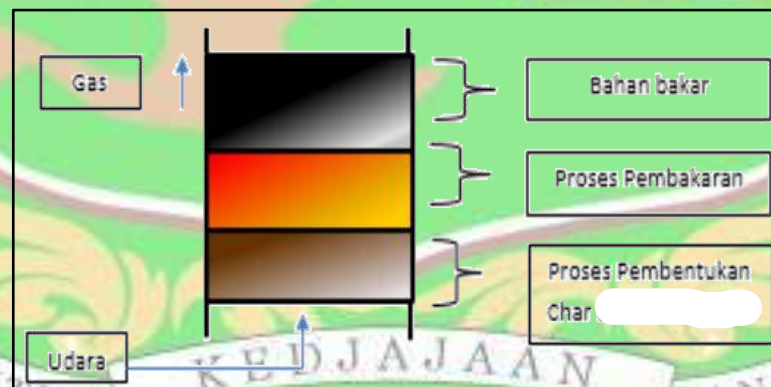
4.7 Hasil Uji WBT Menggunakan Kompor Biomassa Prinsip *Top-Lit Up Draft* (TLUD) *Gasifier*

Berdasarkan hasil penelitian, disimpulkan bahwa briket arang bangkai dan kerabang BSF tidak terbakar sempurna dengan menggunakan kompor biomassa sawir generasi kedua. Hal ini dikarenakan briket arang memiliki kadar abu dan kadar zat terbang yang tinggi. Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi pembakaran tidak sempurna oleh bahan yang memiliki kadar zat terbang tinggi yaitu dengan menggunakan jenis kompor dengan prinsip gasifikasi *Top-Lit Up Draft* (TLUD). Prinsip kerja TLUD ini yaitu (Supramono & Winata, 2012):

1. Penyalaan dilakukan di bagian atas kompor, sehingga terjadi perpindahan panas ke arah bawah;

2. Udara pada bagian bawah (udara primer) yang jumlahnya terbatas dialirkan ke atas sehingga terjadi perpindahan massa udara ke arah atas;
3. Panas di sekitar unggun biomassa akan terbentuk akibat pertemuan panas ke bawah dan massa udara ke atas, kemudian energi panas bergerak ke bawah sehingga gas-gas dari biomassa terlepas (proses pirolisis) dan bereaksi secara tak sempurna dengan udara primer (terbentuk gas hasil pirolisis yaitu gas CO dan asap hidrokarbon);
4. Seluruh gas yang terbentuk mengalir naik dan dibakar sempurna di bagian atas dengan udara sekunder berlebih sehingga dihasilkan gas dengan kandungan emisi CO yang rendah;
5. Pada saat bersamaan pembentukan gas pirolisis tetap terjadi dikarenakan panas tetap mengalir ke bawah.

Sederhananya, prinsip kerja TLUD *gasifier* dapat dilihat pada **Gambar 4.12**. Prinsip kompor TLUD *gasifier* yang memanfaatkan gas hasil pembakaran biomassa menyebabkan kompor ini cocok untuk pembakaran bahan bakar yang memiliki kadar zat terbang yang tinggi, karena kadar zat terbang berpengaruh pada banyaknya asap yang dihasilkan pada saat penyalaan briket arang. Oleh karena itu, dilakukan uji WBT menggunakan kompor biomassa prinsip TLUD *gasifier*.



Gambar 4.12 Prinsip Top-Lit Up Draft (TLUD) Gasifier

Sumber: Prasetiani, et al., 2019

Uji WBT dilakukan menggunakan kompor TLUD *gasifier* dengan massa briket arang sebanyak 250 gram (hampir melebihi 2/3 ruang pembakaran). Setelah dilakukan uji WBT pada fase *cold start*, briket arang masih tidak mampu mencapai temperatur titik didih air. Namun, terjadi peningkatan hasil dari pembakaran briket arang pada kompor TLUD *gasifier* jika dibandingkan dengan pembakaran briket

arang 250 gram pada kompor biomassa sawir generasi kedua, lebih jelasnya dapat dilihat pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7 Perbandingan Hasil Uji WBT dengan Kompor Biomassa Berbeda

Parameter	Perbandingan Kompor Biomassa		
	Sawir Generasi 2	TLUD <i>Gasifier</i>	
Massa Briket yang Digunakan	250 gram	400 gram	250 gram
Apakah Uji WBT Berhasil?	Tidak	Tidak	Tidak
Lama Penyalaan Briket	±5 menit	±5 menit	±5 menit
Temperatur yang Dicapai	73°C	80°C	85°C
Lama Api Menyala (Stabil)	±7 menit	±15 menit	±11 menit
Lama Waktu Api Mengecil Hingga Padam	±8 menit	±11 menit	±9 menit
Lama Api Menyala (Total)	±15 menit	±26 menit	±20 menit

Berdasarkan **Tabel 4.7**, dapat disimpulkan bahwa kompor TLUD *gasifier* lebih baik digunakan untuk pembakaran briket arang bangkai dan kerabang BSF. Hal ini dikarenakan kompor TLUD *gasifier* mampu mempertahankan nyala api lebih lama dengan stabil seperti yang terlihat pada **Gambar 4.13** dan mampu mencapai temperatur yang lebih mendekati titik didih air. Namun masih diperlukan penelitian lebih lanjut karena kompor TLUD *gasifier* yang digunakan pada uji WBT ini adalah kompor berkapasitas kecil (bakan bakar maksimal 250 gram) dan uji kualitas udara di dalam ruangan menggunakan kompor ini masih perlu dilakukan.



Gambar 4.13 Api Hasil Pembakaran pada Kompor TLUD *Gasifier*

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Budi daya BSF mampu mereduksi sampah sisa rumah makan sebesar $78,7 \pm 0,008\%$ dengan nilai WRI sebesar $5,62 \pm 0,059\%$ per hari dan mampu mereduksi gas metana yang dihasilkan oleh TPA di Kota Padang sebesar $20,08 \text{ Gg CO}_2\text{e}$;
2. Kualitas briket arang terbaik yang didapatkan adalah briket arang bangkai dan kerabang BSF dengan perekat kanji 15% yang memiliki kadar air $3,53 \pm 0,035\%$, kadar abu $22,49 \pm 0,065\%$, kadar zat terbang $57,76 \pm 0,260\%$, kadar karbon terikat $16,23 \pm 0,230\%$, kerapatan $0,55 \pm 0,005 \text{ g/cm}^3$, dan nilai kalor $3.933,52 \pm 3,895 \text{ kal/g}$, dari pengujian kualitas briket arang tersebut kadar abu, kadar zat terbang, kadar karbon terikat, dan nilai kalor belum memenuhi baku mutu SNI 01-6235-2000;
3. Konsentrasi gas CO, gas CO₂, dan PM_{2,5} saat pembakaran briket arang bangkai dan kerabang BSF pada fase *cold start* memenuhi baku mutu PERMENKES RI No.1077/MENKES/PER/V/2011.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Sebaiknya dilakukan analisis WRI dengan variasi jenis sampah organik sehingga hasil yang didapatkan semakin mendekati kondisi sebenarnya di TPA Kota Padang;
2. Sebaiknya dilakukan perhitungan gas metana yang terbentuk ketika pembudidayaan BSF agar perhitungan reduksi gas metana lebih akurat;
3. Mencampurkan bahan baku arang tempurung kelapa karena memiliki kualitas arang yang baik dengan rekomendasi pencampuran bahan baku perbandingan kerabang BSF BSF:bangkai BSF:tepung kanji:tempurung kelapa yaitu 10:10:1:79, rekomendasi ini memerlukan penelitian lebih lanjut;

4. Menggunakan kompor biomassa prinsip TLUD *gasifier* karena kompor ini lebih baik dalam pembakaran briket arang yang memiliki nilai kadar abu dan kadar zat terbang tinggi, rekomendasi ini memerlukan penelitian lebih lanjut;
5. Mencoba jenis perekat lain seperti *crude glycerol* agar kualitas briket arang yang dihasilkan lebih baik.



DAFTAR PUSTAKA

- Abimanyu, H., & Hendrana, S. (2014). *Konversi Biomassa untuk Energi Alternatif di Indonesia: Tinjauan Sumber Daya, Teknologi, Manajemen, dan Kebijakan*. Jakarta: LIPI Press
- Almu, M. A., Syahrul, & Padang, Y. A. (2014). Analisa Nilai Kalor dan Laju Pembakaran pada Briket Campuran Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) dan Abu Sekam Padi. *Dinamika Teknik Mesin, Volume 4 No. 2*, 117-122. ISSN: 2088-088X.
- Amin, A. Z. (2017). *Pengaruh Variasi Jumlah Perekat Tepung Tapioka Terhadap Karakteristik Briket Arang Tempurung Kelapa*. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
- Amin, A. Z., Pramono, & Sunyoto. (2017). Pengaruh Variasi Jumlah Perekat Tepung Tapioka Terhadap Karakteristik Briket Arang Tempurung Kelapa. *Saintek Vol. 15 [2]*, 111-118.
- Anizar, H., Sribudiani, E., & Somadona, S. (2020). Pengaruh Bahan Perekat Tapioka dan Sagu Terhadap Kualitas Briket Arang Kulit Buah Nipah. *Perennial, Vol. 16 No. 1*, 11-17.
- Arbi, Y. (2014). *Analisis Pencemaran Air Tanah oleh Lindi di Sekitar Lokasi Tempat Pembuangan Akhir Sampah (Studi Kasus: TPA Air Dingin Padang)*. Tesis. Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung.
- Aristi, M. D. (2020). *Analisis Konsentrasi Particulate Matter 2,5 (PM_{2,5}), Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO₂), dan Laju Konsumsi Bahan Bakar pada Kompor Biomassa Berbahan Bakar Biopellet Sekam Padi*. Tugas Akhir. Departemen Teknik Lingkungan Universitas Andalas.
- Artati, W. K., Noriyanti, S., & Dwi, R. (2012). Kajian Eksperimental Terhadap Karakteristik Pembakaran Briket Limbah Ampas Kopi Instan dan Kulit Kopi. *Jurnal Teknik POMITS*, 1-6.
- Artiningrum, T. (2017). Potensi Emisi Metana (CH₄) dari Timbulan Sampah Kota Bandung. *GEOPLANART Vol 1, No 1*, 36-44.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *SNI 01-6325-2000 tentang Briket Arang Kayu*.
- Badan Standardisasi Nasional. (1995). *SNI 06-3730-1995 tentang Arang Aktif Teknis*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2014). *SNI 8021-2014 tentang Pelet Kayu*.
- Bourguignon, D. (2015, September 17). *Biomass for Electricity and Heating: Opportunities and Challenges*. Diambil dari European Parliament Website: [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI\(2015\)568329](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2015)568329)
- Dewi, R. P., Saputra, T. J., & Purnomo, S. J. (2020). *Uji Kandungan Fixed Carbon dan Volatile Matter Briket Arang dengan Variasi Ukuran Partikel Serbuk Arang*. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 3. pp. A1.1-A1.6.
- Dewilda, Y., Aziz, R., & Fauzi, M. (2019). Kajian Potensi Daur Ulang Sampah Makanan Restoran di Kota Padang. *Serambi Engineering, Vol. IV (2)*, 482-487. ISSN : 2528-3561.

- Diener, S., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2009). Conversion of organic material by black soldier fly larvae: Establishing optimal feeding rates. *Waste Management and Research*, 27(6), 603–610.
- Diener, S. (2010). *Valorisation of Organic Solid Waste using the Black Soldier Fly, Hermetia illucens, in Low and Middle-Income Countries*. Disertasi. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology ETH Zurich.
- Diener, S., Zurbrügg, C., Gutiérrez, F., Nguyen, D., Morel, A., Koottatep, T., & Tockner, K. (2011). *Black Soldier Fly Larvae for Organic Waste Treatment – Prospects and Constraints*. WasteSafe 2011 – 2nd International Conference. pp. 1-8.
- Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim. (2020). *Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) Tahun 2020*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Dortmans, B., Diener, S., Verstappen, B., & Zurbrügg, C. (2017). *Black Soldier Fly Biowaste Processing - A Step-by-Step Guide*. Dübendorf, Switzerland: Eawag – Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.
- Environmental Protection Agency (EPA). (2022, May 5). *Greenhouse Gas Emissions: Understanding Global Warming Potentials*. Diambil dari United States Environmental Protection Agency Web site: [https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials#:~:text=Methane%20\(CH4\)%20is%20estimated,uses%20a%20different%20value.](https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials#:~:text=Methane%20(CH4)%20is%20estimated,uses%20a%20different%20value.)
- Eskawiyanti, A. P. (2018). *Paparan Particulate Matter 1 (PM₁) dan Particulate Matter 2,5 (PM_{2,5}) pada Trotoar*. Skripsi. Departemen Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Faujiah. (2016). *Pengaruh Konsentrasi Perekat Tepung Tapioka terhadap Kualitas Briket Arang Kulit Buah Nipah (Nyfa fruticans wurmb)*. Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Alauddin.
- Goembira, F., Aristi, D. M., Nofriadi, D., & Putri, N. T. (2021). Analisis Konsentrasi PM_{2,5}, CO dan CO₂, Serta Laju Konsumsi Bahan Bakar Biopellet Sekam Padi dan Jerami pada Kompor Biomassa. *Jurnal Ilmu Lingkungan Vol. 19 (2)*, 201-210. DOI: 10.14710/jil.19.2.201-210
- Haryana, A. (2019). Pengembangan Penggunaan Energi Biomassa pada Sektor Rumah Tangga dan Dampaknya pada Beban Subsidi Elpiji dan Kesehatan Keluarga Miskin. *Bappenas Working Papers Volume II No. 2*, 176-190. DOI: 10.47266/bwp.v2i2.38.
- Hendra, D. (2007). *Teknologi Tepat Guna Pembuatan Arang, Briket Arang, dan Tungku Hemat Energi*. Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Departemen Kehutanan.
- Huda, M. (2014). Pengembangan Persamaan Baru untuk Menghitung Nilai Kalor Batubara Indonesia. *Indonesian Mining Journal Vol. 17, (1)*, 10-19.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). Chapter 2: Waste Generation, Composition, and Management Data. Dalam R. Pipatti, C. Sharma, M. Yamada, J. W. Alves, Q. Gao, G. S. Guendehou, . . . S. M. Vieira, *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme* (hal. 2.1-2.23). Japan: IGES.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). Chapter 3: Solid Waste Disposal. Dalam R. Pipatti, P. Svandal, J. W. Alves, Q. Gao, C. L. Cabrera, K. Mareckova, . . . M. Yamada, *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme* (hal. 3.1-3.40). Japan: IGES.
- Isa, I., Haris, L., & Arif, I. H. (2012). *Briket Arang dan Arang Aktif dari Limbah Tongkol Jagung, Laporan Penelitian*. Gorontalo: Universitas Negeri Gorontalo.
- Kahariyadi, A., Setyawati, D., Nurhaida, Diba, F., & Roslinda, E. (2015). Kualitas Arang Briket Berdasarkan Persentase Arang Batang Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis jacq*) dan Arang Kayu Laban (*Vitex pubescens vahl*). *JURNAL HUTAN LESTARI Vol. 3 (4)*, 561 – 568.
- Kroes, K. (2012). *Design and Evaluation of A Black Soldier Fly (Hermetia illucens) Rearing System*. Tesis. Wageningen University.
- Kurnia, L. A., & Keman, S. (2014). Analisis Risiko Paparan Debu PM 2,5 Terhadap Kejadian Penyakit Paru Obstruktif pada Pekerja Bagian Boiler Perusahaan Lem di Probolinggo. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Vol. 7, No. 2*, 118-125.
- Liu, C., Wang, C., & Huaiying, Y. (2019). Comprehensive Resource Utilization of Waste Using the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae). *Animals 9*, 349, 1-19. DOI: 10.3390/ani9060349
- Lodge jr., J. P. (1989). *Methods of Air Sampling and Analysis 3rd Edition*. Michigan: Lewis Publishers, inc.
- Lohri, C. R., Diener, S., Zabaleta, I., Mertenat, A., & Zurbrugg, C. (2017). Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low- and middle income settings. *Rev Environ Sci Biotechnol vol. 16 (1)*, 81-130.
- Lystia, A. (2008). *Pengurangan Emisi CO pada Kompor Briket Batubara Menggunakan Downjet Kecepatan Rendah*. Depok: Universitas Indonesia.
- Mahardika, T. R. (2016). *Teknologi Reduksi Sampah dengan Memanfaatkan Larva Black Soldier Fly (BSF) di Kawasan Pasar Puspa Agro Sidoarjo*. Skripsi. Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Manurung, R., Supriatna, A., Esyanthi, R. R., & Putra, R. E. (2016). Bioconversion of Rice straw waste by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.): Optimal feed rate for biomass production. *Journal of Entomology and Zoology Studies; 4(4)*, 1036-1041. ISSN: 2320-7078.
- Mardika, L. S., Prassetyo, H., & Yuniar. (2015). Rancangan Mesin Briket Biomassa Tenaga Diesel di PT Hidro Daya Kineja. *Reka Integra Vol. 03 No. 03*, 27-38. ISSN: 2338-5081.
- Medio, M. (2021). *Evaluasi Konsentrasi Karbon Dioksida (CO₂), Karbon Monoksida (CO) dan Particulate Matter 2,5(PM_{2,5}) dari Pemakaian Bahan Bakar Briket Bioarang Jerami Padi*. Tugas Akhir. Departemen Teknik Lingkungan Universitas Andalas.
- Menteri Kesehatan Republik Indonesia. (2011). *Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang pedoman penyehatan udara dalam ruang rumah*.
- Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2012). *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku 1: Pedoman Umum*. Jakarta: Kementrian Lingkungan Hidup

- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2006). *Introduction to Linear Regression Analysis 4th Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Moreno, M. A., Manzano, E. S., & Moreno, A. J. (2019). Biomass as Renewable Energy: Worldwide Research Trends. *Sustainability*, 11(3). DOI: 10.3390/su11030863.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2020). *Global Temperature*. Diambil kembali dari NASA: Global Climate Change: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>
- Nur, H. A. (2022). *Pemanfaatan Budidaya Black Soldier Fly (BSF) (Hermetia illucens) dalam Mereduksi Sampah dan Kerabang BSF Sebagai Bahan Baku Briket Untuk Mengurangi Efek Gas Rumah Kaca*. Tugas Akhir. Departemen Teknik Lingkungan Universitas Andalas.
- Parinduri, L., & Parinduri, T. (2020). Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Journal of Electrical Technology*, Vol. 5, No.2, 88-92.
- Pathiassana, M. T., Izzy, S. N., Haryandi, & Nealma, S. (2020). Studi Laju Umpan pada Proses Biokonversi dengan Variasi Jenis Sampah yang Dikelola PT. Biomagg Sinergi Internasional Menggunakan Larva Black Soldier Fly (Hermetia Illucens). *Jurnal TAMBORA Vol. 4 No. 1*, 86-95. ISSN: 2621-542X.
- PCIA & Global Alliance. (2014). *The Water Boiling Test Version 4.2.3; Cookstove Emissions and Efficiency in a Controlled Laboratory Setting*. Washington DC: Clean Cooking Alliance.
- Prabowo, S., Pranoto, & Budiastuti, S. (2019). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca yang Dihasilkan dari Tempat Pemrosesan akhir (TPA) di Jawa Tengah. *Jurnal Bioeksperimen Vol. 5 (1)*, 21-33. DOI: 10.23917/bioeksperimen.v5i1.7983
- Prasetiani, C., L., Suwandi, & Iskandar, R., F. (2019). Pengaruh Jenis Biomassa dan Kecepatan Aliran Udara Terhadap Kinerja Kompor Gasifikasi Biomassa. *e-Proceeding of Engineering Vol. 6 (2) ISSN: 2355-9365*, 5217-5224
- Prima, A. Z. (2022). *Evaluasi Konsentrasi PM2.5, CO, dan CO2 pada Pembakaran Briket Arang Jerami Padi Menggunakan Kompor Biomassa Sawir 2.0 dengan Tepung Kanji dan Crude Glycerol Sebagai Perekat*. Tugas Akhir. Departemen Teknik Lingkungan Universitas Andalas.
- Rahmi, F. A., Muhammad, Y., & Sasaerila, Y. (2019). *Effect of Different Organic Wastes on the Growth of Black Soldier Fly (Hermetia illucens) Larvae*. International Conference and the 10th Congress of the Entomological Society of Indonesia (ICCESI 2019). pp. 113-116.
- Ridhuan, K., & Suranto, J. (2016). Perbandingan Pembakaran Pirolisis dan Karbonisasi pada Biomassa Kulit Durian Terhadap Nilai Kalori. *TURBO p-ISSN: 2301-6663, e-ISSN: 2447-250X Vol. 5 No. 1*, 50-56.
- Sandri, D., & Hadi, F. S. (2016). Optimasi Bentuk dan Ukuran Arang dari Kulit Buah Karet untuk Menghasilkan Biobriket. *Jurnal Teknologi Agro-Industri, Vol.3 (2)*, 23-29. DOI: 10.34128/jtai.v3i2.4
- Saragi, E. S. (2015). *Penentuan Optimal Feeding Rate Larva Black Soldier Fly (Hermetia illucens) dalam Mereduksi Sampah Organik Pasar*. Skripsi. Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Sastro, Y. (2016). *Teknologi Pengomposan Limbah Organik Kota Menggunakan Black Soldier Fly*. Jakarta: Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Jakarta.
- Satmoko, M. E. (2013). *Pengaruh Variasi Temperatur Cetakan Terhadap Karakteristik Briket Kayu Sengon pada Tekanan Kompaksi 6000 Psig*. Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Setyawan, B., & Rosiana, U. (2019). *Pengaruh Komposisi Bahan Baku dan Perekat Terhadap Emisi Gas Briket Arang Kulit Kopi dan Tempurung Kelapa*. Prosiding Seminar Nasional MIPA UNIBA, pp. 267-276.
- Sipayung, P. Y. (2015). *Pemanfaatan Larva Black Soldier Fly (Hermetia Illucens) Sebagai Salah Satu Teknologi Reduksi Sampah di Daerah Perkotaan*. Skripsi. Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sirajuddin, Z. (2021). Pengaruh Densitas Bahan Terhadap Mutu Briket Arang Tempurung Kelapa. *Mediagro: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 17(1), 26–37.
- Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). (2022). Data Komposisi Sampah Kota Padang 2021. Diambil dari SIPSN Web Site. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/komposisi#parallax>
- Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). (2022). Data Timbulan Sampah Kota Padang 2021. Diambil dari SIPSN Web Site. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/timbulan>
- Subkhan, A. (2017). *Kajian Emisi Karbon Dioksida (CO₂) dari Pemanfaatan Energi Rumah Tangga di Kelurahan Candi Kota Semarang*. Skripsi. Jurusan Geografi Universitas Negeri Semarang.
- Sudding, & Jamaluddin. (2015). Pengaruh Jumlah Perekat Kanji terhadap Lama Briket Terbakar menjadi Abu. *Jurnal Chemica Vol.16 No.1*, 27-36.
- Sugiyati, F. Y., Sutiya, B., & Yuniarti. (2021). Karakteristik Briket Arang Campuran Arang Akasia Daun Kecil (*Acacia auliculiformis*) dan Arang Alaban (*Vitex pubescens* vhal). *Jurnal Sylva Scientiae Vol. 04 No. 2*, 274 - 284. ISSN 2622-8963.
- Suhartoyo, & Sriyanto. (2017). Efektifitas Briket Biomassa. *Prosiding SNATIF Ke-4*, 623-627. ISBN: 978-602-1180-50-1.
- Sun, J., Shen, Z., Zhang, Y., Zhang, Q., Wang, F., Wang, T., . . . Li, X. (2019). Effects of biomass briquetting and carbonization on PM_{2.5} emission from residential burning in Guanzhong Plain, China. *Fuel* 244, 379–387.
- Supramono, D., & Winata, R. (2012). *Unjuk Kerja Kompor Gas-Biomassa dengan Bahan Bakar Pellet Biomassa dari Limbah Bagas Tebu*. Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia dan Musyawarah Nasional APTEKINDO. ISBN 978-979-98300-2-9.
- The Japan Institute of Energy. (2008). *Buku Panduan Biomassa Asia: Panduan untuk Produksi dan Pemanfaatan Biomassa*. Tokyo: Japan Inst. Energy.
- Wahyuni, S., Selvina, R., Fauziyah, R., Prakoso, H. T., Priyono, & Siswanto. (2020). Optimasi Suhu dan Waktu Deasetilasi Kitin Berbasis Selongsong Maggot (*Hermetia ilucens*) Menjadi Kitosan. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI) Vol. 25 (3)*, 373-381.
- Wang, L. K., Pereira, N. C., Hung, Y. T. (2005). *Handbook Of Environmental Engineering Volume 2: Advanced Air and Noise Pollution Control*. New Jersey: Humana Press

- Wardhana, A. H. (2016). Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) sebagai Sumber Protein Alternatif untuk Pakan Ternak. *WARTAZOA*, 26(2), 69–78. DOI: 10.14334/wartazoa.v26i2.1218
- Wark, K., Warner, C. F., & Davis, W. T. (1998). *Air Pollution: Its Origin and Control (3rd Edition) (3rd ed.)*. Menlo Park, California: Addison-Wesley.
- Wijaya AK, A. A., Yulianti, N., & Gunadnya, I. (2021). Karakteristik Briket Biomassa dari Variasi Bahan Baku dan Persentase Perikat yang Berbeda. *Jurnal BETA (Biosistem dan Teknik Pertanian) Vol. 9 (2)*.
- Zahro, N., Eurika, N., & Prafitasari, A. N. (2021). Konsumsi Pakan dan Indeks Pengurangan Sampah Buah dan Sayur Menggunakan Larva Black Soldier Fly . *BIOMA: Jurnal Biologi dan Pembelajaran Biologi*, 6 (1), 88-101.





LAMPIRAN



LAMPIRAN A
(The Water Boiling Test Procedure
Version 4.2.3)

II. WATER BOILING TEST (WBT) OVERVIEW

The WBT consists of three phases that immediately follow each other. These are discussed below and shown graphically in Figure 1. The entire WBT should be conducted at least three times for each stove, which constitutes a WBT test set. The test workbook for WBT 4.2.3 can accommodate results for up to 10 tests.

- 1) For the **cold-start high-power phase**, the tester begins with the stove at room temperature and uses fuel from a pre-weighed bundle of fuel to boil a measured quantity of water in a standard pot. The tester then replaces the boiled water with a fresh pot of ambient-temperature water to perform the second phase.
- 2) The **hot-start high-power phase** is conducted after the first phase while stove is still hot. Again, the tester uses fuel from a pre-weighed bundle of fuel to boil a measured quantity of water in a standard pot. Repeating the test with a hot stove helps to identify differences in performance between a stove when it is cold and when it is hot. This is particularly important for stoves with high thermal mass, since these stoves may be kept warm in practice.
- 3) The **simmer phase** provides the amount of fuel required to simmer a measured amount of water at just below boiling point for 45 minutes. This step simulates the long cooking of legumes or pulses common throughout much of the world.

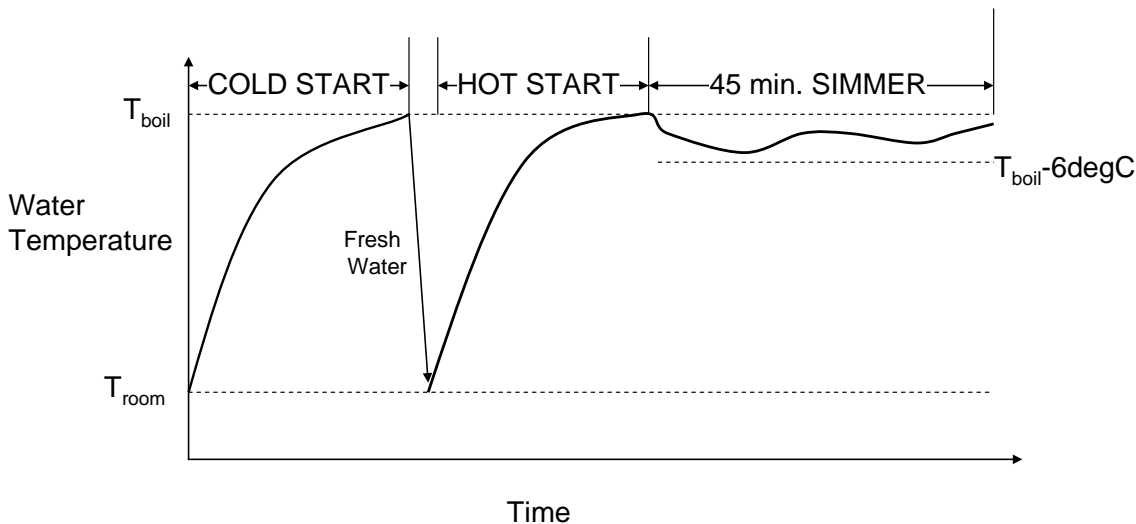


Figure 1. Temperature during the three phases of the water boiling test. (Figure credit: Nordica MacCarty)

A full stove test should always include all three test phases. A quick test for a laboratory's internal use may include only the cold-start and simmer phases if the stove has low mass (no ceramic) and previous WBTs have shown that the cold-start and hot-start phases produce the same results.

A. EMISSION TESTING

This basic testing protocol includes optional instructions (Appendix 6) for measuring carbon monoxide (CO), particulate matter (PM), and carbon dioxide (CO₂) concentrations in the stove's exhaust. Other pollutants may also be measured.

III. PREPARING THE LABORATORY

This section describes steps needed to prepare your laboratory for testing. Calibration should be done regularly. The other steps need to be done only once at each location.

A. CALIBRATION

Equipment, including the thermocouple, scales, emission equipment, should be regularly calibrated to ensure standardization of results. Air flow measuring stations in dilution tunnels can be calibrated using a pitot tube. Thermocouples can be calibrated using thermometric fixed points (i.e. ice bath and boiling water). Filter sampling systems should be leak checked under negative pressure. Barometric pressure sensors can be calibrated using an automated pressure calibrator. Relative humidity sensors can be calibrated using aqueous salt solutions. Balances and stopwatches can be checked for accuracy with test masses and a reference clock, respectively. For emissions equipment, calibration can be done with zero checks and using compressed gases. All major components should be checked to ensure operability and repaired when required. Laboratory equipment maintenance should be conducted as recommended by the manufacturer and on an as-needed basis.

Consult other resources, for example U.S. EPA Standard Operating Procedures, for further information and guidelines about frequency of calibration.

B. OBTAIN THE REQUIRED EQUIPMENT

- Scale with a capacity of at least 6 kg and accuracy of ± 1 gram
- Heat resistant material to protect scale
- Digital Thermometer, accurate to 0.5 degree C, with thermocouple probe suitable for immersion in liquids
- Wood moisture meter OR oven for drying wood and scale for weighing (moisture meter is less accurate, especially for very wet wood)
- Timer
- Tape measure for measuring wood and stove (cm)
- Standard pots: pots that are used in your region and have a volume of about 7 liters (for 5-L tests) or 3.5 liters (for 2.5-L tests). For each size, you should choose a standard shape (height and circumference) that is used in your area.
- Wood or metal fixture for holding thermocouple in water (see Appendix 1.1)
- Small shovel/spatula to remove charcoal from stove
- Tongs for handling charcoal
- Dust pan for transferring charcoal
- Metal tray to hold charcoal for weighing
- Heat resistant gloves
- (Optional) Emissions equipment (See Appendix 6)

C. OBTAIN THE CALCULATION SPREADSHEET

Measurements from the WBT can be recorded in the Excel workbook titled

WBT_data-calculation_sheet_4.2.3.xls

which is provided at the Standards and Testing protocols website: <http://www.cleancookstoves.org/our-work/standards-and-testing/learn-about-testing-protocols/>. This spreadsheet uses the equations in Appendix 4. You may also do the calculations by hand, by following the equations in Appendix 4. The WBT and Excel workbook may be updated and WBT_data-calculation_sheet_4.2.3.xls may not be the most current version. **Please make sure you have the latest version of the workbook and protocol by visiting the website.**

This document assumes that you will be using the Excel spreadsheet. It indicates the sheets within the spreadsheet where the data will be entered like this: [*NameOfSheet*] sheet. For example, results of the tests are shown in the [*Results*] sheet.

The [*IWA Summary*] sheet is the latest IWA Tier Reporting form previously available only as a separate Word document, now included as part of the template for easy communication of results.

You will not need to use the [*Calorific values*] and [*Lists*] sheets. These sheets contain data that are used for calculations throughout the spreadsheet.

The [*Catalog Import Data*] sheet contains summary metrics from the spreadsheet which allows for direct upload into the Clean Cooking Catalog located at <http://catalog.cleancookstoves.org/>. Do not edit the information on this worksheet or change its location (last), as this will result in an error in test result upload.

D. DETERMINE THE LOCAL BOILING POINT

See Appendix 1.2.

E. SET UP EMISSION MEASUREMENTS, OPTIONAL

See Appendix 6.

V. WATER BOILING TEST PROTOCOL

A. TIME REQUIRED

It will take 1½ - 2 hours to do the high (cold and hot starts) and low power phases for one stove. It will take 4 ½ - 6 hours to do one set of three WBTs for one stove.

B. IMPORTANT CONSIDERATIONS FOR TESTING

- 1) The *cooking system* includes a stove, a fuel, a pot, and an operator. All four affect the performance of the system.
- 2) No test should require the stove to perform a task that would not occur during its normal operation.
- 3) You should use the *same fuel and pot* for each test if you wish to compare designs or stoves. However, you should never use a fuel or pot for which a stove was not designed.
- 4) The *operation of the stove* has a large effect on the outcome of stove performance tests. All tests of a single stove, and all tests to evaluate design improvements, must be done with consistent operation of the stove. Document the operation with written procedures, photos, and videos (if possible).

C. PREPARATION FOR EACH SET OF 3 WATER BOILING TESTS

- 1) Create a new Excel workbook for each set of three tests by making a copy of “WBT_data-calculation_sheet_4.2.3.xls”. Excel files should *always* have a unique name or code number.

You, the tester, should fill out all **gray cells** and **cells with listboxes** (choices). Other cells are calculations.

- 2) Fill out the [*General Information*] sheet. A copy of this sheet is given in Appendix 7 if you wish to fill it out by hand. This sheet asks you to record:
 - a) Test and Stove Description
 - **Name of Tester(s)**
 - **Test Number or Code**
 - **Test Dates**
 - **Test Year**
 - **Test Location**
 - **Replicate Test Number (if you are performing more than 3 sets of tests)**
 - **Altitude**

- **Stove Type/Model**
 - **Manufacturer**
 - **Description and Notes about the stove***
 - **Description of Pot(s)**
- b) Ambient Conditions
- **Air relative humidity (%)**
 - **Local boiling point of water (determined using Appendix 1.2) (°C)**
- c) Emission Testing (optional)
- **Atmospheric pressure (kPa)**
 - **Pitot delta-P**
 - **Hood flow rate (m³/hr)**
- d) **Notes or description about stove or operation not included elsewhere on this form**, especially fuel addition, during the high-power and simmering tests (you should know this from your practice tests) weigh the dry pots without lid and the char container
- e) Fuel description
- **General description of fuel**
 - **Fuel type (select from list)**
 - **Fuel description (select from list)**
 - **Average length (cm)**
 - **Cross-sectional dimensions (cm x cm)**
 - **Gross, Net and Char calorific values and char content (by your own measurement or filled in automatically based on selected fuel type)**
 - **Description of fire starter, small wood, or kindling**
- f) Description of operation the high-power test
- **How is fire started?**
 - **When do you add new fuel to the fire?**
 - **How much fuel do you add at one time?**
 - **How often do you feed the fire without adding fuel (e.g. push sticks)?**
 - **Do you control the air above or below the fire? If so, what do you do?**
- g) Description of operation during the simmering test
- **How is fire started?**
 - **When do you add new fuel to the fire?**
 - **How much fuel do you add at one time?**
 - **How often do you feed the fire without adding fuel (e.g. push sticks)?**
 - **Do you control the air above or below the fire? If so, what do you do?**

* *Guidance for stove description: Photograph the stove, if possible. Use a tape measure to record the dimensions of the stove. A cross sectional drawing of the stove with dimensions may be useful. Identify the materials used for stove construction. Use an additional sheet if necessary.*

- 3) Fill out the [Fuel Moisture] sheet if you are using a handheld moisture meter. A copy of this sheet is given in Appendix 7 if you wish to fill it out by hand, but you will need to enter the values in the worksheet to obtain the calculated moisture content.
- 4) Determine whether your fuel is fed **continuously** or in a **batch**. Many wood and crop waste stoves are continuous feed, while most charcoal and liquid-fuel stoves are loaded with fuel before the test. The two types of fuel-feeding have some separate instructions.
- 5) Do not proceed if wind will affect your testing location.

D. PREPARATION FOR EACH WATER BOILING TEST

- 1) If you wish to record data by hand at first, print a [Test Entry] Sheet or from Appendix 7. If you wish to record the data directly in the workbook, you will be entering data into the [Test-1], [Test-2] or [Test-3] (up to 10 tests possible) sheets, for each replicate of the WBT.

Prepare one pot (or more if testing multi-pot stoves) for the cold start test. Record the **dry weight of each pot (g)**. Fill each pot with 5 kg (5 liters) of clean room temperature water. If using the smaller standard pot, fill each pot with 2.5 kg or 2.5 liters of water. The amount of water should be determined by placing the pot on the scale and adding water until the total weight of pot and water together is 5 kg (or 2.5 kg) more than the weight of the pot alone.

If the stove cannot accommodate the standard pot and the pot that is used cannot accommodate 5 (or 2.5) kg of water, OR if a multi-pot stove is used with non-standard pots that cannot accommodate 5 (or 2.5) kg of water, fill each pot about 2/3 full and record the change in procedure in the comment space. Use the same amount of water for each phase and each test.

Record the **weight of pot(s) with water (g), Cold Start High Power, Start**.

- 2) If you have enough pots, prepare additional pots and water for the hot start test. If not enough pots are available, measure out the needed volumes of water in another container.
- 3) Measure and record the ambient conditions: **air temperature (°C), wind conditions (select from list)**.
- 4) (Optional for emission measurements) Record **background concentrations** for **CO₂ (ppm), CO (ppm),** and **particulate matter concentrations (µg/m³)**.

In earlier versions of the spreadsheet, fuel description and calorific value were entered on the Test Entry sheets. In this version these values are taken from the [General Information] sheet. The same fuel type, size, and moisture content must be used for the three replicates of the WBT.

E. INSTRUCTIONS FOR WBT PHASES

Remaining data for the three phases of the test should be recorded on the Test Entry form. The stove should begin at room temperature.

WBT PHASE 1: HIGH POWER (COLD START)

Instruction	Data, Cold Start High Power section	Units
1. Prepare the timer (do not start it yet).		
2. Continuous: Weigh the bundle of fuel plus kindling.	Weight of fuel, Start	g
Batch: (Includes charcoal, ethanol, kerosene, and LPG stoves) Weigh the stove loaded with fuel.	Weight of fuel, Start	g
3. Place the pot on the stove. Using the wooden fixtures, place a thermometer in each pot so that water temperature may be measured in the center, 5 cm from the bottom. If there are additional pots, use the additional thermometers if possible. Measure the initial water temperature in each pot. Confirm that it does not vary substantially from the ambient temperature. There should NOT be a lid on the pot while conducting the WBT.	Water temperature, Start	°C
4. Optional for emission measurements: Record background concentrations and duct temperature. For real-time emission measurements, begin recording the particulate matter measurement. For filter-based measurements, turn on flow to the particulate matter filter. Begin recording the emission measurement for CO and CO ₂ .	Background CO₂ Background CO Background PM Duct Temperature <i>Real-time emission measurements recorded by emissions equipment</i>	ppm ppm µg/m ³ °C

Continuous Measurement of Temperature: The water temperature may be continuously recorded if a device is available to do so.

Lids: While a lid helps to retain heat and is often used in actual cooking tasks, it does not affect the transfer of heat from the stove to the pot. Lids may increase the variability of the WBT results, making it harder to compare results from different tests.

5. Start the fire in a reproducible manner according to local practices. (This procedure should be documented.)		
6. Once the fire has caught, start the timer and record the starting time. Bring the first pot rapidly to a boil without being excessively wasteful of fuel using wood from the pre-weighed bundle. Control the fire with the means commonly used locally. (This procedure should be documented.)	Time, Start	hr:min
7. When the water in the first pot reaches the pre-determined local boiling temperature as shown by the digital thermometer, rapidly do steps 7.a – 7.f.		
a. Record the time at which the water in the primary pot (Pot # 1) first reaches the local boiling temperature. Record this temperature also.	Time, Finish Water temperature, Finish	hr:min °C
b. Optional for emission measurements: Turn off flow to the particulate matter filter (for filter-based measurements). Remove and properly store filter and then replace filter.		
<p>c. Continuous: Remove all wood from the stove and extinguish the flames. Flames can be extinguished by blowing on the ends of the sticks or placing them in a bucket of ash or sand; do not use water – it will affect the weight of the wood. Knock all loose charcoal from the ends of the wood into the container for weighing charcoal.</p> <p>Weigh the unburned wood removed from the stove together with the remaining wood from the pre-weighed bundle.</p> <p>Extract all remaining charcoal from the stove. Weigh this remaining charcoal with the charcoal that was knocked off the sticks.</p>	<p>Weight of fuel, Finish</p> <p>Weight of charcoal+containe r, Finish</p>	<p>g</p> <p>g</p> <p>g</p>

Emissions During Fuel Measurements: This procedure is not included in the emission measurement because it is not part of normal operation.

Alternative Method to Weigh Charcoal: If your scale can handle the weight of the stove, then you can weigh the whole stove with the charcoal rather than removing the charcoal.

<p>Batch: Remove all the remaining from the stove and extinguish the flames. Carefully separate the charcoal and the wood and weigh them separately.</p>	<p>Weight of fuel, Finish. Weight of charcoal, Finish</p>	<p>g</p>
<p>d. For multi-pot stoves, measure the water temperature from each pot (the primary pot should be at the boiling point).</p>	<p>Water temperature, Pot #2 – 4, Finish</p>	<p>°C</p>
<p>e. Weigh each pot, with its water.</p>	<p>Weights of Pot with water, Finish</p>	<p>g</p>
<p>f. Discard the hot water.</p>		

This completes the high power cold-start phase. Next, begin the high power-hot start phase, immediately while the stove is still hot. **Be careful not to burn yourself!**

Alternative Methods to Charcoal Measurements for Batch-bed Stoves: In previous versions, the charcoal was not weighed separately. Reflecting the recommendation from several commenters, these instructions have been modified to better account for remaining wood and charcoal. Procedures for batch-fed stoves are being developed including methodology to properly account for energy and carbon remaining. Alternatively, the remaining fuel can be ground to be made more uniform, and then analyzed for heating value and carbon content.

WBT PHASE 2: HIGH POWER (HOT START)

Instruction	Data, Hot Start High Power section	Units
1. Reset the timer (do not start it yet).		
2. If the pot for the hot start phase has not been prepared in advance, refill the pot with 5 (or 2.5) kg of fresh ambient-temperature water. Weigh the pot (with water) and measure the initial water temperature. For multi-pot stoves, fill the additional pots, weigh them and record their weights.	Weight of pot(s) with water, Start	g
3. Continuous: Record the weight of the second bundle of fuel plus kindling. Batch: Weigh the stove loaded with fuel.	Weight of fuel, Start Weight of fuel, Start	g g
4. Place the pot on the stove and replace the thermometer in the pot. Measure the initial water temperature in each pot. Confirm that it does not vary substantially from the ambient temperature.	Water temperature, Start	°C
5. Optional for emission measurements: For filter-based measurements, turn on flow to the particulate matter filter.	<i>Real-time emission measurements recorded by emissions equipment</i>	
6. Start the fire using fuel from the second pre-weighed bundle designated for this phase of the test. Follow the ignition procedure used in Phase 1.		

Continuous Measurement of Temperature: The water temperature may be continuously recorded if a device is available to do so.

7. Once the fire has caught, start the timer. Record the starting time. Bring the first pot rapidly to a boil without being excessively wasteful of fuel using wood from the second pre-weighed bundle. Control the fire using the procedure used in Phase 1.	Time, Start	hr:min
8. When the water in the first pot reaches the pre-determined local boiling temperature as shown by the digital thermometer, rapidly do steps 8.a – 8.e.		
a. Record the time at which the water in the primary pot (Pot # 1) first reaches the local boiling temperature. Record this temperature also.	Time, Finish Water temperature, Finish	hr:min °C
b. Optional for emission measurements: Turn off flow to the particulate matter filter (for filter-based measurements). Remove and properly store filter and then replace filter.		
c. Continuous: Remove all wood from the stove and extinguish the flames. Knock all loose charcoal from the ends of the wood into the combustion area (you will not weigh the charcoal at this stage). Weigh the unburned wood removed from the stove together with the remaining wood from the second pre-weighed bundle. Batch: Weigh the stove loaded with fuel. Record zero for the weight of charcoal.	Weight of fuel, Finish Weight of fuel, Finish. Weight of charcoal = 0, Finish	g g g
d. For multi-pot stoves, measure the water temperature from each pot (the primary pot should be at the boiling point).	Water temperature, Pot #2 – 4, Finish	°C
e. Weigh each pot, with its water.	Weights of Pot with water, Finish	g
9. Return the unburned wood to the stove. Proceed immediately with the low power test.		

Speed and Safety: Speed and safety are important during Step 8 because the water temperature should stay as close as possible to boiling in order to proceed directly to the simmer phase. The pot of hot water may be temporarily covered with a lid and placed on a hot plate (if available).

Multi-pot Stoves: Final temperature and weight of additional pots may be recorded. However, metrics to evaluate energy delivered to additional pots need to be more fully developed. See discussion of multi-pot stove testing in Appendix 2 and the discussion of additional metrics in Appendix 8.

WBT PHASE 3: LOW POWER (SIMMERING)

This portion of the test is designed to test the ability of the stove to shift into a low power phase following a high-power phase in order to simmer water for 45 minutes using a minimal amount of fuel. For multi-pot stoves, **only the primary pot will be assessed for simmering performance.**

Instruction	Data, Simmer Test section	Units
1. Reset the timer (do not start it yet).		
2. Record the weight of the pot with water.	<i>Weight of pot with water, Start</i>	g
3. Continuous: Record the weight of fuel remaining from the hot start high power phase plus the third bundle of fuel plus kindling.	<i>Weight of fuel, Start</i>	g
Batch: Record the weight of the stove loaded with fuel remaining from the hot start high power phase	<i>Weight of fuel, Start</i>	g
4. Relight the hot wood that was replaced. Follow the ignition procedure used in Phase 1.		
5. Optional for emission measurements: For filter-based measurements, turn on flow to the particulate matter filter.	<i>Real-time emission measurements recorded by emissions equipment</i>	
6. Once the fire has caught, reset and start the timer. Record the starting time.	<i>Time, Start</i>	hr:min
7. Place the pot on the stove and replace the thermometer in the pot.		

8. For 45 minutes maintain the fire at a level that keeps the water temperature as close as possible to 3 degrees below the boiling point. The test is invalid if the temperature in the pot drops more than 6°C below the local boiling temperature.

9. After 45 minutes rapidly do steps 6.a – 6.d:

a. Record the time. Record the final water temperature – it should still be about 3 °C below the established boiling point.

Time, Finish g
Water temperature, Finish °C

b. **Optional for emission measurements:** Turn off flow to the particulate matter filter (for filter-based measurements). Remove and properly store filter.

c. **Continuous:** Remove all wood from the stove and extinguish the flames. Knock all loose charcoal from the ends of the wood into the charcoal container.

Weigh the unburned wood removed from the stove together with the remaining wood from the second pre-weighed bundle.

Weight of fuel, Finish g

Extract all remaining charcoal from the stove. Weigh this remaining charcoal with the charcoal that was knocked off the sticks.

Weight of charcoal+container, Finish g

Batch: Remove all the remaining from the stove and extinguish the flames. Carefully separate the charcoal and the unburned wood and weigh them separately.

Weight of wood, Finish g
Weight of charcoal+container, Finish g

d. Weigh the pot with the remaining water.

Weight of pot with water, Finish g

Maintaining Temperature: Many stoves lack adequate turndown ability, which makes it difficult to maintain the desired temperature without the fire going out (especially after the initial fuel load has been consumed). In this case, use the minimum amount of wood necessary to keep the fire from dying completely. Water temperatures in this case will be higher than 3° below boiling, but the test is still valid. The tester should not attempt to reduce power by splitting the wood into smaller pieces.

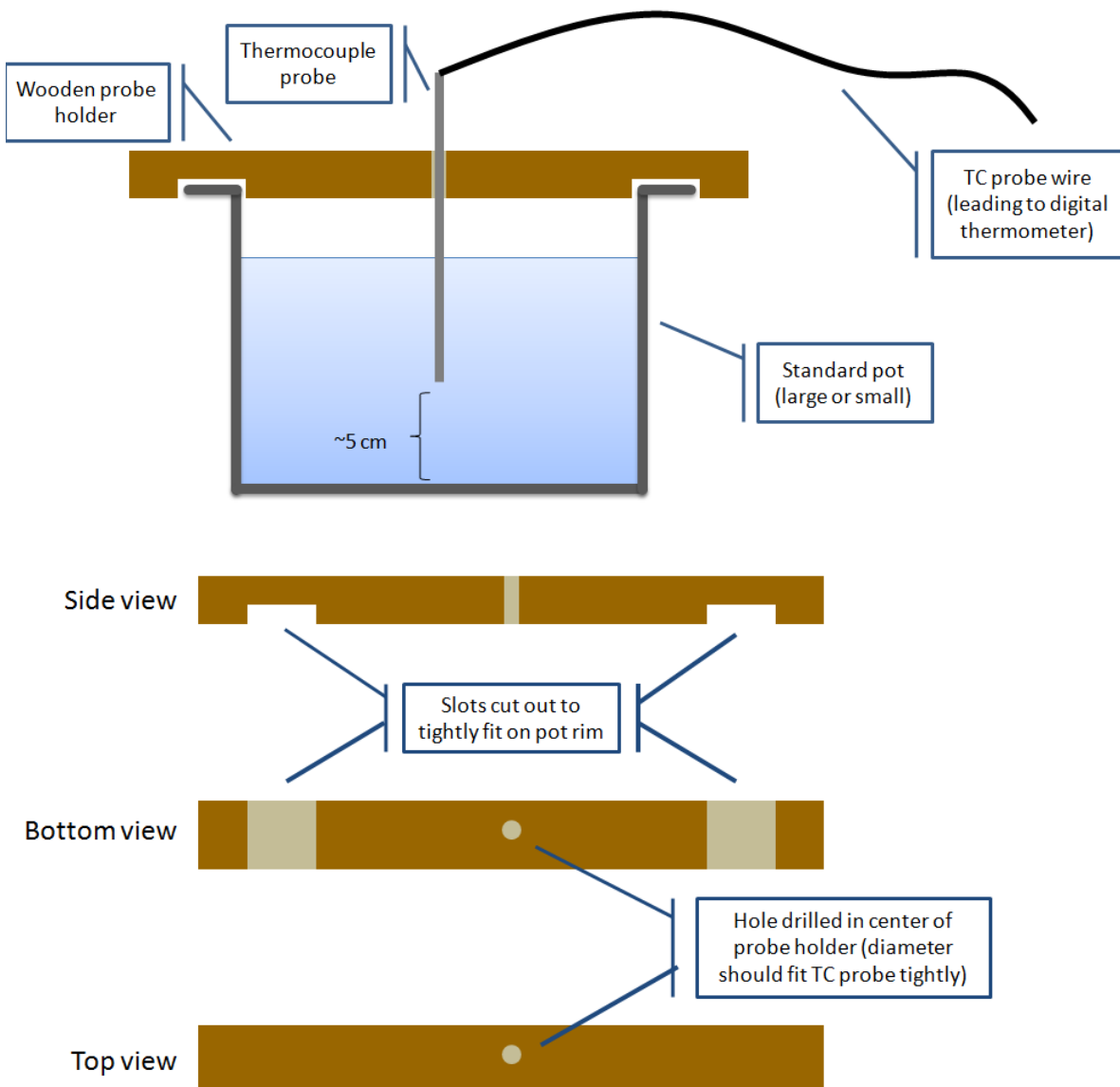
Alternative Methods to Charcoal Measurements for Batch-bed Stoves: In previous versions, the charcoal was not weighed separately. Reflecting the recommendation from several commenters, these instructions have been modified to better account for remaining wood and charcoal. Procedures for batch-fed stoves are being developed including methodology to properly account for energy and carbon remaining. Alternatively, the remaining fuel can be ground to be made more uniform, and then analyzed for heating value and carbon content.

APPENDIX 1. PREPARATION FOR THE WATER BOILING TEST

This appendix provides guidance on initial setup of the equipment for the Water Boiling Test. It also discusses two methods that are needed to perform the WBT, local boiling point and fuel moisture content.

1.1 HOLDING THE THERMOCOUPLE IN THE POT

The diagram below shows a wooden probe holder to keep the thermocouple (TC) probe in the pot. The dimensions are not critical, but the probe holder should be made so that the TC probe fits into it tightly and the probe holder fits securely on the pot





UNIVERSITAS ANDALAS

LAMPIRAN B

**(2006 IPCC Guidelines for National
Greenhouse Gas Inventories Volume**

5: Waste, Chapter 2: Waste

Generation, Composition and

Management Data & Chapter 3: Solid

Waste Disposal)

UNTUK

KEDJAJAAN

BANGSA

CHAPTER 2

WASTE GENERATION, COMPOSITION AND MANAGEMENT DATA

Default values for DOC and fossil carbon content in different waste types is given in Table 2.4. Table 2.4 gives default values also for garden and park waste, and disposable nappies. These waste types were not included in Table 2.3 due to lack of data. All fractions in the Table 2.4 are given as percentages.

MSW component	Dry matter content in % of wet weight ¹	DOC content in % of wet waste		DOC content in % of dry waste		Total carbon content in % of dry weight		Fossil carbon fraction in % of total carbon	
		Default	Range	Default	Range ²	Default	Range	Default	Range
Paper/cardboard	90	40	36 - 45	44	40 - 50	46	42 - 50	1	0 - 5
Textiles ³	80	24	20 - 40	30	25 - 50	50	25 - 50	20	0 - 50
Food waste	40	15	8 - 20	38	20 - 50	38	20 - 50	-	-
Wood	85 ⁴	43	39 - 46	50	46 - 54	50	46 - 54	-	-
Garden and Park waste	40	20	18 - 22	49	45 - 55	49	45 - 55	0	0
Nappies	40	24	18 - 32	60	44 - 80	70	54 - 90	10	10
Rubber and Leather	84	(39) ⁵	(39) ⁵	(47) ⁵	(47) ⁵	67	67	20	20
Plastics	100	-	-	-	-	75	67 - 85	100	95 - 100
Metal ⁶	100	-	-	-	-	NA	NA	NA	NA
Glass ⁶	100	-	-	-	-	NA	NA	NA	NA
Other, inert waste	90	-	-	-	-	3	0 - 5	100	50 - 100

¹ The moisture content given here applies to the specific waste types before they enter the collection and treatment. In samples taken from collected waste or from e.g., SWDS the moisture content of each waste type will vary by moisture of co-existing waste and weather during handling.

² The range refers to the minimum and maximum data reported by Dehoust *et al.*, 2002; Gangdonggu, 1997; Guendehou, 2004; JESC, 2001; Jager and Blok, 1993; Würdinger *et al.*, 1997; and Zeschmar-Lahl, 2002.

³ 40 percent of textile are assumed to be synthetic (default). Expert judgement by the authors.

⁴ This value is for wood products at the end of life. Typical dry matter content of wood at the time of harvest (that is for garden and park waste) is 40 percent. Expert judgement by the authors.

⁵ Natural rubbers would likely not degrade under anaerobic condition at SWDS (Tsuchii *et al.*, 1985; Rose and Steinbüchel, 2005).

⁶ Metal and glass contain some carbon of fossil origin. Combustion of significant amounts of glass or metal is not common.

DOC values for different waste types, which are derived from analyses based on sampling during waste collection at SWDS or at incineration facilities, may include impurities, e.g., traces of food in glass and plastic waste. Carbon contents of paper, textiles, nappies, rubber and plastic may also be different between countries and at different time periods. These analyses may therefore result in DOC estimates different from those given in Table 2.4. It is *good practice* to use DOC values consistently with the way the waste composition data are derived.

The best composition data can be obtained by routine monitoring at the gate of SWDS or incineration and other treatment facilities. If these data are not available, composition data obtained at generation and/or transportation, treatment and recycling facilities can be used for disposed DOC estimations using waste stream analysis (see Box 2.1).

Waste can be sampled at pits in waste treatment facilities, at loading yards in transportation stations and SWDS. Composition data of disposed waste can be obtained from field sampling at SWDS. The amount of waste (typically more than 1 m³ for a representative sample) should be separated manually into each item and weighed by item in order to obtain wet weight composition. A certain amount of each item should be reduced and sampled by quartering and used for chemical analysis including moisture and DOC. Samples should be taken on different days of the week.

MSW composition will vary by city in a same country. It will also vary by the day of the week, season and year in the same city. National representative (or average) composition data should be obtained from sampling at several typical cities on same days of the week in each season. Sampling at SWDS on rainy days will change moisture content (i.e., wet weight composition) significantly, and needs attention in interpretation of that in annual data.

CHAPTER 3

SOLID WASTE DISPOSAL

3.2.1.1 FIRST ORDER DECAY (FOD)

METHANE EMISSIONS

The CH₄ emissions from solid waste disposal for a single year can be estimated using Equations 3.1. CH₄ is generated as a result of degradation of organic material under anaerobic conditions. Part of the CH₄ generated is oxidised in the cover of the SWDS, or can be recovered for energy or flaring. The CH₄ actually emitted from the SWDS will hence be smaller than the amount generated.

EQUATION 3.1
CH₄ EMISSION FROM SWDS

$$CH_4 \text{ Emissions} = \left[\sum_x CH_4 \text{ generated}_{x,T} - R_T \right] \cdot (1 - OX_T)$$

Where:

- CH₄ Emissions = CH₄ emitted in year *T*, Gg
- T* = inventory year
- x* = waste category or type/material
- R_{*T*} = recovered CH₄ in year *T*, Gg
- OX_{*T*} = oxidation factor in year *T*, (fraction)

The CH₄ recovered must be subtracted from the amount CH₄ generated. Only the fraction of CH₄ that is not recovered will be subject to oxidation in the SWDS cover layer.

METHANE GENERATION

The CH₄ generation potential of the waste that is disposed in a certain year will decrease gradually throughout the following decades. In this process, the release of CH₄ from this specific amount of waste decreases gradually. The FOD model is built on an exponential factor that describes the fraction of degradable material which each year is degraded into CH₄ and CO₂.

One key input in the model is the amount of degradable organic matter (DOC_m) in waste disposed into SWDS. This is estimated based on information on disposal of different waste categories (municipal solid waste (MSW), sludge, industrial and other waste) and the different waste types/material (food, paper, wood, textiles, etc.) included in these categories, or alternatively as mean DOC in bulk waste disposed. Information is also needed on the types of SWDS in the country and the parameters described in Section 3.2.3. For Tier 1, default regional activity data and default IPCC parameters can be used and these are included in the spreadsheet model. Tiers 2 and 3 require country-specific activity data and/or country-specific parameters.

The equations for estimating the CH₄ generation are given below. As the mathematics are the same for estimating the CH₄ emissions from all waste categories/waste types/materials, no indexing referring to the different categories/waste materials/types is used in the equations below.

The CH₄ potential that is generated throughout the years can be estimated on the basis of the amounts and composition of the waste disposed into SWDS and the waste management practices at the disposal sites. The basis for the calculation is the amount of Decomposable Degradable Organic Carbon (DDOC_m) as defined in Equation 3.2. DDOC_m is the part of the organic carbon that will degrade under the anaerobic conditions in SWDS. It is used in the equations and spreadsheet models as DDOC_m. The index *m* is used for mass. DDOC_m equals the product of the waste amount (*W*), the fraction of degradable organic carbon in the waste (DOC), the fraction of the degradable organic carbon that decomposes under anaerobic conditions (DOC_f), and the part of the waste that will decompose under aerobic conditions (prior to the conditions becoming anaerobic) in the SWDS, which is interpreted with the methane correction factor (MCF).

EQUATION 3.2
DECOMPOSABLE DOC FROM WASTE DISPOSAL DATA

$$DDOCm = W \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF$$

Where:

- DDOCm = mass of decomposable DOC deposited, Gg
 W = mass of waste deposited, Gg
 DOC = degradable organic carbon in the year of deposition, fraction, Gg C/Gg waste
 DOC_f = fraction of DOC that can decompose (fraction)
 MCF = CH₄ correction factor for aerobic decomposition in the year of deposition (fraction)

Although CH₄ generation potential (L_o)² is not used explicitly in these *Guidelines*, it equals the product of DDOCm, the CH₄ concentration in the gas (F) and the molecular weight ratio of CH₄ and C (16/12).

EQUATION 3.3
TRANSFORMATION FROM DDOCm TO L_o

$$L_o = DDOCm \cdot F \cdot 16/12$$

Where:

- L_o = CH₄ generation potential, Gg CH₄
 DDOCm = mass of decomposable DOC, Gg
 F = fraction of CH₄ in generated landfill gas (volume fraction)
 16/12 = molecular weight ratio CH₄/C (ratio)

Using DDOCma (DDOCm accumulated in the SWDS) from the spreadsheets, the above equation can be used to calculate the total CH₄ generation potential of the waste remaining in the SWDS.

FIRST ORDER DECAY BASICS

With a first order reaction, the amount of product is always proportional to the amount of reactive material. This means that the year in which the waste material was deposited in the SWDS is irrelevant to the amount of CH₄ generated each year. It is only the total mass of decomposing material currently in the site that matters.

This also means that when we know the amount of decomposing material in the SWDS at the start of the year, every year can be regarded as year number 1 in the estimation method, and the basic first order calculations can be done by these two simple equations, with the decay reaction beginning on the 1st of January the year after deposition.

EQUATION 3.4
DDOCm ACCUMULATED IN THE SWDS AT THE END OF YEAR T

$$DDOCma_T = DDOCmd_T + (DDOCma_{T-1} \cdot e^{-k})$$

EQUATION 3.5
DDOCm DECOMPOSED AT THE END OF YEAR T

$$DDOCm_{decomp_T} = DDOCma_{T-1} \cdot (1 - e^{-k})$$

² In the 2006 *Guidelines* L_o (Gg CH₄ generated) is estimated from the amount of decomposable DOC in the SWDS. The equation in *GPG2000* is different as L_o is estimated as Gg CH₄ per Gg waste disposed, and the emissions are obtained by multiplying with the mass disposed.

Where:

T	=	inventory year
$DDOCm_{a_T}$	=	DDOCm accumulated in the SWDS at the end of year T , Gg
$DDOCm_{a_{T-1}}$	=	DDOCm accumulated in the SWDS at the end of year $(T-1)$, Gg
$DDOCm_{d_T}$	=	DDOCm deposited into the SWDS in year T , Gg
$DDOCm_{decomp_T}$	=	DDOCm decomposed in the SWDS in year T , Gg
k	=	reaction constant, $k = \ln(2)/t_{1/2}$ (y^{-1})
$t_{1/2}$	=	half-life time (y)

The method can be adjusted for reaction start dates earlier than 1st of January in the year after deposition. Equations and explanations can be found in Annex 3A.1.

CH₄ generated from decomposable DDOCm

The amount of CH₄ formed from decomposable material is found by multiplying the CH₄ fraction in generated landfill gas and the CH₄/C molecular weight ratio.

<p>EQUATION 3.6</p> <p>CH₄ GENERATED FROM DECAYED DDOCm</p> $CH_4 \text{ generated}_T = DDOCm \text{ decomp}_T \cdot F \cdot 16/12$
--

Where:

$CH_4 \text{ generated}_T$	=	amount of CH ₄ generated from decomposable material
$DDOCm \text{ decomp}_T$	=	DDOCm decomposed in year T , Gg
F	=	fraction of CH ₄ , by volume, in generated landfill gas (fraction)
$16/12$	=	molecular weight ratio CH ₄ /C (ratio)

Further background details on the FOD, and an explanation of differences with the approaches in previous versions of the guidance (IPCC, 1997; IPCC, 2000), are given in Annex 3A.1.

SIMPLE FOD SPREADSHEET MODEL

The simple FOD spreadsheet model (*IPCC Waste Model*) has been developed on the basis of Equations 3.4 and 3.5 shown above. The spreadsheet keeps a running total of the amount of decomposable DOC in the disposal site, taking account of the amount deposited each year and the amount remaining from previous years. This is used to calculate the amount of DOC decomposing to CH₄ and CO₂ each year.

The spreadsheet also allows users to define a time delay between deposition of the waste and the start of CH₄ generation. This represents the time taken for substantial CH₄ to be generated from the disposed waste (see Section 3.2.3 and Annex 3A.1).

The model then calculates the amount of CH₄ generated from the DDOCm, and subtracts the CH₄ recovered and CH₄ oxidised in the cover material (see Annex 3A.1 for equations) to give the amount of CH₄ emitted.

The *IPCC Waste Model* provides two options for the estimation of the emissions from MSW, that can be chosen depending on the available activity data. The first option is a multi-phase model based on **waste composition data**. The amounts of each type of degradable waste material (food, garden and park waste³, paper and cardboard, wood, textiles, etc.) in MSW are entered separately. The second option is single-phase model based on **bulk waste** (MSW). Emissions from industrial waste and sludge are estimated in a similar way as for bulk MSW. Countries that choose to use the spreadsheet model may use either the waste composition or the bulk waste option, depending on the level of data available. When waste composition is relatively stable, both options give similar results. However when rapid changes in waste composition occur, options might give different

³ 'garden waste' may also be called 'yard waste' in US English.

3.2.3 Choice of emission factors and parameters

DEGRADABLE ORGANIC CARBON (DOC)

Degradable organic carbon (DOC) is the organic carbon in waste that is accessible to biochemical decomposition, and should be expressed as Gg C per Gg waste. The DOC in bulk waste is estimated based on the composition of waste and can be calculated from a weighted average of the degradable carbon content of various components (waste types/material) of the waste stream. The following equation estimates DOC using default carbon content values:

EQUATION 3.7
ESTIMATES DOC USING DEFAULT CARBON CONTENT VALUES

$$DOC = \sum_i (DOC_i \cdot W_i)$$

Where:

- DOC = fraction of degradable organic carbon in bulk waste, Gg C/Gg waste
- DOC_{*i*} = fraction of degradable organic carbon in waste type *i*
e.g., the default value for paper is 0.4 (wet weight basis)
- W_{*i*} = fraction of waste type *i* by waste category
e.g., the default value for paper in MSW in Eastern Asia is 0.188 (wet weight basis)

The default DOC values for these fractions for MSW can be found in Table 2.4 and for industrial waste by industry in Table 2.5 in Chapter 2 of this Volume. A similar approach can be used to estimate the DOC content in total waste disposed in the country. In the spreadsheet model, the estimation of the DOC in MSW is needed only for the *bulk waste option*, and is the average DOC for the MSW disposed in the SWDS, including inert materials.

The inert part of the waste (glass, plastics, metals and other non-degradable waste, see defaults in Table 2.3 in Chapter 2.) is important when estimating the total amount of DOC in MSW. Therefore it is advised not to use IPCC default waste composition data together with country-specific MSW disposal data, without checking that the inert part is close to the inert part in the IPCC default data.

The use of country-specific values is encouraged if data are available. Country-specific values can be obtained by performing waste generation studies, sampling at SWDS combined with analysis of the degradable carbon content within the country. If national values are used, survey data and sampling results should be reported (see also Section 3.2.2 for activity data and Section 3.8 for reporting).

FRACTION OF DEGRADABLE ORGANIC CARBON WHICH DECOMPOSES (DOC_f)

Fraction of degradable organic carbon which decomposes (DOC_f) is an estimate of the fraction of carbon that is ultimately degraded and released from SWDS, and reflects the fact that some degradable organic carbon does not degrade, or degrades very slowly, under anaerobic conditions in the SWDS. The recommended default value for DOC_f is 0.5 (under the assumption that the SWDS environment is anaerobic and the DOC values include lignin, see Table 2.4 in Chapter 2 for default DOC values) (Oonk and Boom, 1995; Bogner and Matthews, 2003). DOC_f value is dependent on many factors like temperature, moisture, pH, composition of waste, etc. National values for DOC_f or values from similar countries can be used for DOC_f, but they should be based on well-documented research.

The amount of DOC leached from the SWDS is not considered in the estimation of DOC_f. Generally the amounts of DOC lost with the leachate are less than 1 percent and can be neglected in the calculations⁵.

Higher tier methodologies (Tier 2 or 3) can also use separate DOC_f values defined for specific waste types. There is some literature giving information about anaerobic degradability (DOC_f) for material types (Barlaz,

⁵ In countries with high precipitation rates the amount of DOC lost through leaching may be higher. In Japan, where the precipitation is high, SWDS with high penetration rate, have been found to leach significant amounts of DOC (sometimes more than 10 percent of the carbon in the SWDS) (Matsufuji *et al.*, 1996).

2004; Micales & Skog, 1997; US EPA, 2002; Gardner *et al.*, 2002). The reported degradabilities especially for wood, vary over a wide range and is yet quite inconclusive. They may also vary with tree species. Separate DOC_f values for specific waste types imply the assumption that degradation of different types of waste is independent of each other. As discussed further, below under Half-Life, scientific knowledge at the moment of writing these *Guidelines* is not yet conclusive on this aspect.

Hence the use of waste type specific values for DOC_f can introduce additional uncertainty to the estimates in cases where the data on waste composition are based on default values, modelling or estimates based on expert judgement. Therefore, it is *good practice* to use DOC_f values specific to waste types only when waste composition data are based on representative sampling and analyses.

METHANE CORRECTION FACTOR (MCF)⁶

Waste disposal practices vary in the control, placement of waste and management of the site. The CH_4 correction factor (MCF) accounts for the fact that unmanaged SWDS produce less CH_4 from a given amount of waste than anaerobic managed SWDS. In unmanaged SWDS, a larger fraction of waste decomposes aerobically in the top layer. In unmanaged SWDS with deep disposal and/or with high water table, the fraction of waste that degrades aerobically should be smaller than in shallow SWDS. Semi-aerobic managed SWDS are managed passively to introduce air to the waste layer to create a semi-aerobic environment within the SWDS. The MCF in relation to solid waste management is specific to that area and should be interpreted as the waste management correction factor that reflects the management aspect it encompasses.

An MCF is assigned to each of four categories, as shown in Table 3.1. A default value is provided for countries where the quantity of waste disposed to each SWDS is not known. A country's classification of its waste sites into managed or unmanaged may change over a number of years as national waste management policies are implemented.

The Fraction of Solid Waste Disposed to Solid Waste Disposal Sites (SW_f) and MCF reflect the way waste is managed and the effect of site structure and management practices on CH_4 generation. The methodology requires countries to provide data or estimates of the quantity of waste that is disposed of to each of four categories of solid waste disposal sites (Table 3.1). Only if countries cannot categorise their SWDS into four categories of managed and unmanaged SWDS, the MCF for 'uncategorised SWDS' can be used.

Type of Site	Methane Correction Factor (MCF) Default Values
Managed – anaerobic ¹	1.0
Managed – semi-aerobic ²	0.5
Unmanaged ³ – deep (>5 m waste) and/or high water table	0.8
Unmanaged ⁴ – shallow (<5 m waste)	0.4
Uncategorised SWDS ⁵	0.6

¹ **Anaerobic managed solid waste disposal sites:** These must have controlled placement of waste (i.e., waste directed to specific deposition areas, a degree of control of scavenging and a degree of control of fires) and will include at least one of the following: (i) cover material; (ii) mechanical compacting; or (iii) levelling of the waste.

² **Semi-aerobic managed solid waste disposal sites:** These must have controlled placement of waste and will include all of the following structures for introducing air to waste layer: (i) permeable cover material; (ii) leachate drainage system; (iii) regulating pondage; and (iv) gas ventilation system.

³ **Unmanaged solid waste disposal sites – deep and/or with high water table:** All SWDS not meeting the criteria of managed SWDS and which have depths of greater than or equal to 5 metres and/or high water table at near ground level. Latter situation corresponds to filling inland water, such as pond, river or wetland, by waste.

⁴ **Unmanaged shallow solid waste disposal sites:** All SWDS not meeting the criteria of managed SWDS and which have depths of less than 5 metres.

⁵ **Uncategorised solid waste disposal sites:** Only if countries cannot categorise their SWDS into above four categories of managed and unmanaged SWDS, the MCF for this category can be used.

Sources: IPCC (2000); Matsufuji *et al.* (1996)

⁶ The term methane correction factor (MCF) in this context should not be confused with the methane conversion factor (MCF) referred to in the Agriculture, Forestry, and Other Land Use Sector for livestock manure management emissions.

FRACTION OF CH₄ IN GENERATED LANDFILL GAS (F)

Most waste in SWDS generates a gas with approximately 50 percent CH₄. Only material including substantial amounts of fat or oil can generate gas with substantially more than 50 percent CH₄. The use of the IPCC default value for the fraction of CH₄ in landfill gas (0.5) is therefore encouraged.

The fraction of CH₄ in generated landfill gas should not be confused with measured CH₄ in gas emitted from the SWDS. In the SWDS, CO₂ is absorbed in seepage water, and the neutral condition of the SWDS transforms much of the absorbed CO₂ to bicarbonate. Therefore, it is *good practice* to adjust for the CO₂ absorption in seepage water, if the fraction of CH₄ in landfill gas is based on measurements of CH₄ concentrations measured in landfill gas emitted from the SWDS (Bergman, 1995; Kämpfer and Weissenfels, 2001; IPCC, 1997).

OXIDATION FACTOR (OX)

The oxidation factor (OX) reflects the amount of CH₄ from SWDS that is oxidised in the soil or other material covering the waste.

CH₄ oxidation is by methanotrophic micro-organisms in cover soils and can range from negligible to 100 percent of internally produced CH₄. The thickness, physical properties and moisture content of cover soils directly affect CH₄ oxidation (Bogner and Matthews, 2003).

Studies show that sanitary, well-managed SWDS tend to have higher oxidation rates than unmanaged dump sites. The oxidation factor at sites covered with thick and well-aerated material may differ significantly from sites with no cover or where large amounts of CH₄ can escape through cracks/fissures in the cover.

Field and laboratory CH₄ and CO₂ emission concentrations and flux measurements that determine CH₄ oxidation from uniform and homogeneous soil layers should not be used directly to determine the oxidation factor, since in reality, only a fraction of the CH₄ generated will diffuse through such a homogeneous layer. Another fraction will escape through cracks/fissures or via lateral diffusion without being oxidised. Therefore, unless the spatial extent of measurements is wide enough and cracks/fissures are explicitly included, results from field and laboratory studies may lead to over-estimation of oxidation in SWDS cover soils.

The default value for oxidation factor is zero. See Table 3.2. The use of the oxidation value of 0.1 is justified for covered, well-managed SWDS to estimate both diffusion through the cap and escape by cracks/fissures. The use of an oxidation value higher than 0.1, should be clearly documented, referenced, and supported by data relevant to national circumstances. It is important to remember that any CH₄ that is recovered must be subtracted from the amount generated before applying an oxidation factor.

Type of Site	Oxidation Factor (OX) Default Values
Managed ¹ , unmanaged and uncategorised SWDS	0
Managed covered with CH ₄ oxidising material ²	0.1
¹ Managed but not covered with aerated material	
² Examples: soil, compost	

HALF-LIFE

The half-life value, $t_{1/2}$ is the time taken for the DOC_m in waste to decay to half its initial mass. In the FOD model and in the equations in this Volume, the reaction constant k is used. The relationship between k and $t_{1/2}$ is: $k = \ln(2)/t_{1/2}$. The half-life is affected by a wide variety of factors related with the composition of the waste, climatic conditions at the site where the SWDS is located, characteristics of the SWDS, waste disposal practices and others (Pelt *et al.*, 1998; Environment Canada, 2003).

The half-life value applicable to any single SWDS is determined by a large number of factors associated with the composition of the waste and the conditions at the site. Recent studies have provided more data on half-lives

(experimental or by means of models), but the results obtained are based on the characteristics of developed countries under temperate conditions. Few available results reflect the characteristics of developing countries and tropical conditions. Measurements from SWDS in Argentina, New Zealand, the United States, the United Kingdom and the Netherlands support values for $t_{1/2}$ in the range of approximately 3 to 35 years (Oonk and Boom, 1995; USEPA, 2005; Scharff *et al.*, 2003; Canada, 2004; and Argentina, 2004).

The most rapid rates ($k = 0.2$, or a half-life of about 3 years) are associated with high moisture conditions and rapidly degradable material such as food waste. The slower decay rates ($k = 0.02$, or a half-life of about 35 years) are associated with dry site conditions and slowly degradable waste such as wood or paper. A much longer half-life of 70 years or above could be justified for shallow dry SWDS in a temperate climate or for wood waste in a dry, temperate climate. A half-life of less than 3 years may be appropriate for managed SWDS in a wet, temperate climate or rapidly degrading waste in a wet, tropical climate. The inventory compiler is encouraged to establish country specific half-life values. Current knowledge and data limitations constrain the development of a default methodology for estimating half-lives from field-data at SWDS.

There are two alternative approaches to select the half-life (or k value) for the calculation: (a) calculate a weighted average for $t_{1/2}$ for mixed MSW (Jensen and Pipatti, 2002) or (b) divide the waste stream into categories of waste according to their degradation speed (Brown *et al.*, 1999). The first approach assumes degradation of different types of waste to be completely dependent on each other. So the decay of wood is enhanced due to the present of food waste, and the decay of food waste is slowed down due to the wood. The second approach assumes degradation of different types of waste is independent of each other. Wood degrades as wood, irrespective whether it is in an almost inert SWDS or in a SWDS that contains large amounts of more rapidly degrading wastes. In reality the truth will probably be somewhere in the middle. However there has been little research performed to identify the better one of both approaches (Oonk and Boom, 1995; Scharff *et al.*, 2003) and this research was not conclusive. Two options of the IPCC spreadsheet model apply either of above approaches to select the half-life as follows:

Bulk waste option: The bulk waste option requires alternative (a) above, and is suitable for countries without data or with limited data on waste composition, but with good information on bulk waste disposed at SWDS. Default values are estimated as a function of the climate zone.

Waste composition option: The waste composition option requires alternative (b) and is applicable for countries having data on waste composition. Specification of the half-life ($t_{1/2}$) of each component of the waste stream (IPCC, 2000) is required to achieve acceptably accurate results.

For both options default half-life values are estimated as a function of the climate zone. The main assumptions and considerations made are:

- Waste composition (especially the organic component) is one of the main factors influencing both the amount and the timing of CH_4 production.
- Moisture content of a SWDS is an essential element for anaerobic decomposition and CH_4 generation. A simplified method assumes that the moisture content of a SWDS is proportional to the mean annual precipitation (MAP) in the location of the SWDS (Pelt *et al.*, 1998; U.S. EPA, 1998; Environment Canada, 2003) or to the ratio of MAP and potential evapotranspiration (PET).
- The extent to which ambient air temperatures influence the temperature of the SWDS and gas generation rates depends mainly on the degree of waste management and the depth of SWDS.
- Wastes in shallow open dumps generally decompose aerobically and produce little CH_4 , and the emissions decline in shorter time than the anaerobic conditions. Managed (and also deep unmanaged) SWDS creates anaerobic conditions.

Countries may develop specific half-life values (or k values) more appropriate for their circumstances and characteristics. It is *good practice* that countries which develop their own half-life values document the experimental procedures used to derive to them.

Default k values and the corresponding half-lives are provided below in Table 3.3 and in Table 3.4.

TABLE 3.3									
RECOMMENDED DEFAULT METHANE GENERATION RATE (k) VALUES UNDER TIER 1									
(Derived from k values obtained in experimental measurements, calculated by models, or used in greenhouse gas inventories and other studies)									
Type of Waste		Climate Zone*							
		Boreal and Temperate (MAT \leq 20°C)				Tropical¹ (MAT $>$ 20°C)			
		Dry (MAP/PET $<$ 1)		Wet (MAP/PET $>$ 1)		Dry (MAP $<$ 1000 mm)		Moist and Wet (MAP \geq 1000 mm)	
		Default	Range²	Default	Range²	Default	Range²	Default	Range²
Slowly degrading waste	Paper/textiles waste	0.04	0.03 ^{3,5} – 0.05 ^{3,4}	0.06	0.05 – 0.07 ^{3,5}	0.045	0.04 – 0.06	0.07	0.06 – 0.085
	Wood/ straw waste	0.02	0.01 ^{3,4} – 0.03 ^{6,7}	0.03	0.02 – 0.04	0.025	0.02 – 0.04	0.035	0.03 – 0.05
Moderately degrading waste	Other (non – food) organic putrescible/ Garden and park waste	0.05	0.04 – 0.06	0.1	0.06 – 0.1 ⁸	0.065	0.05 – 0.08	0.17	0.15 – 0.2
Rapidly degrading waste	Food waste/Sewage sludge	0.06	0.05 – 0.08	0.185 ⁴	0.1 ^{3,4} – 0.2 ⁹	0.085	0.07 – 0.1	0.4	0.17 – 0.7 ¹⁰
Bulk Waste		0.05	0.04 – 0.06	0.09	0.08 ⁸ – 0.1	0.065	0.05 – 0.08	0.17	0.15 ¹¹ – 0.2

¹ The available information on the determination of k and half-lives in tropical conditions is quite limited. The values included in the table, for those conditions, are indicative and mostly have been derived from the assumptions described in the text and values obtained for temperate conditions.

² The range refers to the minimum and maximum data reported in literature or estimated by the authors of the chapter. It is included, basically, to describe the uncertainty associated with the default value.

³ Oonk and Boom (1995).

⁴ IPCC (2000).

⁵ Brown *et al.* (1999). A near value (16 yr) was used, for slow degradability, in the GasSim model verification (Attenborough *et al.*, 2002).

⁶ Environment Canada (2003).

⁷ In this range are reported longer half-lives values (up to 231 years) that were not included in the table since are derived from extremely low k values used in sites with mean daily temperature $<$ 0°C (Levelton, 1991).

⁸ Estimated from RIVM (2004).

⁹ Value used for rapid degradability, in the GasSim model verification (Attenborough *et al.*, 2002);

¹⁰ Estimated from Jensen and Pipatti (2003).

¹¹ Considering $t_{1/2} = 4 - 7$ yr as characteristic values for most developing countries in a tropical climate. High moisture conditions and highly degradable waste.

*Adapted from: Chapter 3 in *GPG-LULUCF* (IPCC, 2003).

MAT – Mean annual temperature; MAP – Mean annual precipitation; PET – Potential evapotranspiration.

MAP/PET is the ratio of MAP to PET. The average annual MAT, MAP and PET during the time series should be selected to estimate emissions and indicated by the nearest representative meteorological station.

TABLE 3.4
RECOMMENDED DEFAULT HALF-LIFE ($t_{1/2}$) VALUES (YR) UNDER TIER 1

(Derived from k values obtained in experimental measurements, calculated by models, or used in greenhouse gas inventories and other studies)

Type of Waste		Climate Zone*							
		Boreal and Temperate (MAT \leq 20°C)				Tropical ¹ (MAT > 20°C)			
		Dry (MAP/PET < 1)		Wet (MAP/PET > 1)		Dry (MAP < 1000 mm)		Moist and Wet (MAP \geq 1000 mm)	
		Default	Range ²	Default	Range ²	Default	Range ²	Default	Range ²
Slowly degrading waste	Paper/textiles waste	17	14 ^{3,5} – 23 ^{3,4}	12	10 – 14 ^{3,5}	15	12 – 17	10	8 – 12
	Wood/ straw waste	35	23 ^{3,4} – 69 ^{6,7}	23	17 – 35	28	17 – 35	20	14 – 23
Moderately degrading waste	Other (non – food) organic putrescible/ Garden and park waste	14	12 – 17	7	6 – 9 ⁸	11	9 – 14	4	3 – 5
Rapidly degrading waste	Food waste/Sewage sludge	12	9 – 14	4 ⁴	3 ^{3,4} – 6 ⁹	8	6 – 10	2	1 ¹⁰ – 4
Bulk Waste		14	12 – 17	7	6 – 9 ⁸	11	9 – 14	4	3 – 5 ¹¹

¹ The available information on the determination of k and half-lives in tropical conditions is quite limited. The values included in the table, for those conditions, are indicative and mostly have been derived from the assumptions described in the text and values obtained for temperate conditions.

² The range refers to the minimum and maximum data reported in literature or estimated by the authors of the chapter. It is included, basically, to describe the uncertainty associated with the default value.

³ Onk and Boom (1995).

⁴ IPCC (2000).

⁵ Brown *et al.* (1999). A near value (16 yr) was used, for slow degradability, in the GasSim model verification (Attenborough *et al.*, 2002).

⁶ Environment Canada (2003).

⁷ In this range are reported longer half-lives values (up to 231 years) that were not included in the table since are derived from extremely low k values used in sites with mean daily temperature < 0°C (Levelton, 1991).

⁸ Estimated from RIVM (2004).

⁹ Value used for rapid degradability, in the GasSim model verification (Attenborough *et al.*, 2002).

¹⁰ Estimated from Jensen and Pipatti (2003).

¹¹ Considering $t_{1/2} = 4 - 7$ yr as characteristic values for most developing countries in a tropical climate. High moisture conditions and highly degradable waste.

*Adapted from: Chapter 3 –GPG-LULUCF (IPCC, 2003).

MAT – Mean annual temperature; MAP – Mean annual precipitation; PET – Potential evapotranspiration.

MAP/PET is the ratio of MAP to PET. The average annual MAT, MAP and PET during the time series should be selected to estimate emissions and indicated by the nearest representative meteorological station.

METHANE RECOVERY (R)

CH₄ generated at SWDS can be recovered and combusted in a flare or energy device. The amount of CH₄ which is recovered is expressed as R in Equation 3.1. If the recovered gas is used for energy, then the resulting greenhouse gas emissions should be reported under the Energy Sector. Emissions from flaring are however not significant, as the CO₂ emissions are of biogenic origin and the CH₄ and N₂O emissions are very small, so *good practice* in the waste sector does not require their estimation. However, if it is wished to do so these emissions should be reported under the waste sector. A discussion of emissions from flares and more detailed information are given in Volume 2, Energy, Chapter 4.2. Emissions from flaring are not treated at Tier 1.

The default value for CH₄ recovery is zero. CH₄ recovery should be reported only when references documenting the amount of CH₄ recovery are available. Reporting based on metering of all gas recovered for energy and flaring, or reporting of gas recovery based on the monitoring of produced amount of electricity from the gas (considering the availability of load factors, heating value and corresponding heat rate, and other factors impacting the amount of gas used to produce the monitored amount of electricity) is consistent with *good practice*.

Estimating the amount of CH₄ recovered using more indirect methods should be done with great care, using substantiated assumptions. Indirect methods might be based on the number of SWDS in a country with CH₄ collection or the total capacity of utilisation equipment or flaring capacity sold.

When CH₄ recovery is estimated on the basis of the number of SWDS with landfill gas recovery a default estimate of recovery efficiency would be 20 percent. This is suggested due to the many uncertainties in using this methodology. There have been some measurements of efficiencies at gas recovery projects, and reported efficiencies have been between 10 and 85 percent. Oonk and Boom (1995) measured efficiencies at closed, unlined SWDS to be in between 10 and 80 percent, the average over 11 SWDS being 37 percent. More recently Scharff *et al.* (2003) measured efficiencies at four SWDS to be 9 percent, 50 percent, 55 percent and 33 percent. Spokas *et al.* (2006) and Diot *et al.* (2001) recently measured efficiencies above 90 percent. In general, high recovery efficiencies can be related to closed SWDS, with reduced gas fluxes, well-designed and operated recovery and thicker and less permeable covers. Low efficiencies can be related to SWDS with large parts still being in exploitation and with e.g., temporary sandy covers.

Country-specific values may be used but significant research would need to be done to understand the impact on recovery of following parameters: cover type, percentage of SWDS covered by recovery project, presence of a liner, open or closed status, and other factors.

When the amount of CH₄ recovered is based on the total capacity of utilisation equipment or flares sold, an effort should be made in order to identify what part of this equipment is still operational. A conservative estimate of amount of CH₄ generated could be based on an inventory of the minimum capacities of the operational utilisation equipment and flares. Another conservative approach is to estimate total recovery as 35 percent of the installed capacities. Based on Dutch and US studies (Oonk, 1993; Scheehle, 2006), recovered amounts varied from 35 to 70 percent of capacity rates. The reasons for the range included (i) running hours from 95 percent down to 80 percent, due to maintenance or technical problems; (ii) overestimated gas production and as result oversized equipment; (iii) back-up flares being largely inactive. The higher rates took these considerations already into account when estimating capacity. If a country uses this method for flaring, care must be taken to ensure that the flare is not a back-up flare for a gas-to-energy project. Flares should be matched to SWDS wherever possible to ensure that double counting does not occur.

In all cases, the recovered amounts should be reported as CH₄, not as landfill gas, as landfill gas contains only a fraction of CH₄. The basis for the reporting should be clearly documented. When reporting is based on the number of SWDS with landfill gas recovery or the total capacity of utilisation equipment, it is essential that all assumptions used in the estimation of the recovery are clearly described and justified with country-specific data and references.

DELAY TIME

In most solid waste disposal sites, waste is deposited continuously throughout the year, usually on a daily basis. However, there is evidence that production of CH₄ does not begin immediately after deposition of the waste.

At first, decomposition is aerobic, which may last for some weeks, until all readily available oxygen has been used up. This is followed by the acidification stage, with production of hydrogen. The acidification stage is often said to last for several months. After which there is a transition period from acidic to neutral conditions, when CH₄ production starts.

The period between deposition of the waste and full production of CH₄ is chemically complex and involves successive microbial reactions. Time estimates for the delay time are uncertain, and will probably vary with waste composition and climatic conditions. Estimates of up to one year have been given in the literature (Gregory *et al.*, 2003; Bergman, 1995; Kämpfer and Weissenfels, 2001; Barlaz, 2004). The IPCC provides a default value of six months for the time delay (IPCC, 1997). This is equivalent to a reaction start time of 1st of January in the year after deposition, when the average residence time of waste in the SWDS has been six months. However, the uncertainty of this assumption is at least 2 months.

The IPCC Waste Model allows the user to change the default delay of six months to a different value. It is *good practice* to choose a delay time of between zero and six months. Values outside this range should be supported by evidence.



LAMPIRAN C

**(Peraturan Menteri Kesehatan RI No.
1077/MENKES/PER/V/2011 tentang
Pedoman Penyehatan Udara Dalam
Ruang Rumah)**



MENTERI KESEHATAN
REPUBLIK INDONESIA

- 4 -

BAB II PERSYARATAN KUALITAS UDARA DALAM RUANG RUMAH

Persyaratan kualitas udara dalam ruang rumah meliputi :

- Kualitas fisik, terdiri dari parameter: partikulat (*Particulate Matter*/PM_{2,5} dan PM₁₀), suhu udara, pencahayaan, kelembaban, serta pengaturan dan pertukaran udara (laju ventilasi);
- Kualitas kimia, terdiri dari parameter: *Sulfur dioksida* (SO₂), *Nitrogen dioksida* (NO₂), *Karbon monoksida* (CO), *Karbon dioksida* (CO₂), *Timbal* (Plumbum=Pb), asap rokok (*Environmental Tobacco Smoke/ETS*), *Asbes*, *Formaldehid* (HCHO), *Volatile Organic Compound* (VOC); dan
- Kualitas biologi terdiri dari parameter: bakteri dan jamur.

A. Persyaratan Fisik

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar yang dipersyaratkan
1.	Suhu	°C	18 - 30
2.	Pencahayaan	Lux	Minimal 60
3.	Kelembaban	% Rh	40 - 60
4.	Laju Ventilasi	m/dtk	0,15 - 0,25
5.	PM _{2,5}	µg/m ³	35 dalam 24 jam
6.	PM ₁₀	µg/m ³	≤ 70 dalam 24 jam

B. Persyaratan Kimia

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimal yang dipersyaratkan	Keterangan
1.	<i>Sulfur dioksida</i> (SO ₂)	ppm	0,1	24 jam
2.	<i>Nitrogen dioksida</i> (NO ₂)	ppm	0,04	24 jam
3.	<i>Carbon monoksida</i> (CO)	ppm	9,00	8 jam
4.	<i>Carbondioksida</i> (CO ₂)	ppm	1000	8 jam
5.	<i>Timbal</i> (Pb)	µg/m ³	1,5	15 menit



LAMPIRAN D

(SNI 06-3730-1995 Tentang Arang Aktif Teknis dan SNI 01-6235-2000 Tentang Briket Arang Kayu)

SNI

Standar Nasional Indonesia

SNI 06-3730-1995

Arang aktif teknis

P.T. LAUTAN LUAS

Komp. Ambengen Plaza B: 35-36-37
Jl. Ngemplak 30, P.O. Box. 1345 Sby,
SURABAYA - 60271
☎ (031) 5319635-7, 6453734-5, 5314827
Fax. (021)-(031) 5318974

Badan Standardisasi Nasional - BSN

ARANG AKTIF TEKNIS

1. RUANG LINGKUP

Standar ini meliputi definisi, syarat mutu, cara pengambilan contoh, cara uji, cara pengemasan dan syarat penandaan arang aktif teknis.

2. DEFINISI

Arang aktif teknis adalah arang yang telah diaktifkan sehingga mempunyai daya serap yang tinggi terhadap warna, bau, zat-zat beracun dan zat-zat kimia lainnya yang tidak digunakan untuk bahan baku obat.

3. SYARAT MUTU

Syarat mutu arang aktif teknis seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel
Syarat Mutu Arang Aktif Teknis

No.	Uraian	Satuan	persyaratan	
			Butiran	Serbuk
1.	Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C,%	-	maks. 15	maks. 25
2.	Air, %	-	maks. 4,4	maks. 15,
3.	Abu, %	-	maks. 2,5	maks. 10
4.	Bagian yang tidak terarang	-	Tidak ter-nyata	Tidak ter-nyata
5.	Daya serap terhadap I ₂	mg/g	min. 750	min. 750
6.	Karbon aktif murni, %	-	min. 80	min. 65
7.	Daya serap terhadap benzena, %	-	min. 25	-
8.	Daya serap terhadap biru metilena	ml/g	min. 60	min.120
9.	Kerapatan jenis curah	g/ml	0,45-0,55	0,30-0,35
10.	Lolos ukuran mesh 325%	-	-	min. 90
11.	Jarak mesh, %	-	90	-
12.	Kekerasan, %	-	80	-

acc
20/10/94

PT LAUTAN LUGAS

Komp. Ambengan Plaza B.135-36-3.
Jl. Ngemplak 30, P.O. Box 1245 Shv
SURABAYA - 60132
☎ (031) 5319635-7, 5433704-6, 5433707
Fax. (031) (31) 5319634

4. CARA PENGAMBILAN CONTOH

Cara pengambilan contoh arang aktif teknis sesuai dengan SNI. 19-0428-1989, petunjuk pengambilan Contoh padatan.

5. CARA UJI

Persiapan contoh.

Contoh butiran sebelum diuji dihaluskan dahulu sampai kehalusan \pm 325 mesh, kecuali contoh untuk uji kerapatan jenis curah daya serap terhadap benzena dan kekerasan tidak dihaluskan. Sebelum contoh uji dikeringkan terlebih dahulu pada $115^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 3 jam, simpan di desikator, kecuali contoh untuk penetapan air, abu dan yang hilang pada pemanasan 950°C .

5.1. Bagian Yang Hilang Pada Pemanasan 950°C

5.1.1. Prinsip

Zat-zat organik yang terikat dalam arang akan menguap pada pemanasan tanpa oksigen pada 950°C . Kehilangan bobot contoh dihitung sebagai bagian yang hilang pada pemanasan 950°C .

5.2.1. Peralatan

- Cawan porselen
- N e r a c a
- Desikator
- T a n u r

5.3.1. Prosedur

Timbang 1-2 g contoh ke dalam cawan porselen yang sudah diketahui bobotnya, diatas cawan tersebut letakkan lagi cawan lain yang sudah diketahui bobotnya, sehingga contoh berada diantara kedua cawan itu. Panaskan cawan dan contoh sampai 950°C dalam tanur, setelah suhu

PT. LAUTAN LUAS

Komp. Ambengan Plaza B: 35-36-37
Jl. Ngemplak 30, P.O. Box. 1345 Sbv.
SURABAYA - 60272
☎ (031) 5319635-7, 5453734-6, 531489
Fax. (62)-(31) 5319634

tercapai cawan dan isinya biarkan dingin, keluarkan dan dinginkan dalam desikator kemudian timbang.

Perhitungan :

Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C, % :

$$\frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100$$

Dimana :

W_1 = Bobot contoh semula, gram

W_2 = Bobot contoh setelah pemanasan, gram

5.2. Air

5.2.1. Prinsip

Air menguap pada suhu di atas 100°C. Kehilangan bobot contoh setelah pemanasan pada 115°C dihitung sebagai air yang terdapat dalam contoh.

5.2.2. peralatan

- Botol timbang
- Neraca
- Oven
- Desikator

5.2.3. prosedur

Timbang teliti 1 g contoh dalam botol timbang, yang telah diketahui bobotnya. Ratakan contoh kemudian masukkan ke dalam oven yang telah diatur suhunya ($115^\circ \pm 5^\circ\text{C}$) selama 3 jam. Waktu pemanasan, tutup botol timbang dibuka. Dinginkan dalam desikator kemudian timbang sampai bobot tetap.

P.T. LAUTAN LUAS

Komp. Ambengan Plaza B : 35-36-37
Jl. Ngemplak 30, P.O. Box. 1345 Sby.
SURABAYA - 60272
☎ (031) 5319635-7, 5463704-6, 5314827
Fax. (031) (31) 5315634

perhitungan:

$$\text{Kadar Air, \%} = \frac{W_1}{W_2} \times 100$$

Dimana:

W_1 = Kehilangan bobot contoh, gram

W_2 = Bobot contoh, gram

5.3. Abu

5.3.1. prinsip

Contoh diabukan pada suhu tinggi, sisa pengabuan dihitung sebagai abu dalam contoh.

5.3.2. peralatan

- Neraca
- Desikator
- Oven
- Cawan platina
- Gegep
- Tanur

5.3.3. prosedur

Timbangan 2-3 g contoh ke dalam cawan platina yang telah diketahui bobotnya. Abukan contoh pelan-pelan, setelah semua arang hilang, nyala diperbesar atau dipindahkan ke dalam tanur (800-900°C) selama 2 jam. Bila seluruh contoh telah menjadi abu, cawan dinginkan dalam desikator, timbang. Bila perlu diabukan kembali, timbang sampai bobot tetap.

perhitungan :

$$\text{Kadar Abu, \%} = \frac{W_1}{W_2} \times 100$$

P.T. LAUTAN LUAS

Komp. Ambengan Plaza B: 35-36-37

Jl. Ngemplak 30, P.O. Box. 1345 Sby.

SURABAYA - 60272

☎ (031) 5319635-7, 5453734-6, 5319827

Fax: (021)-(31) 5319634

Dimana:

W_1 = Sisa pijar, gram

W_2 = Bobot contoh, gram

5.4. Bagian yang Tidak Terarang

5.4.1. prinsip

Bagian yang tidak diperarang dapat dibedakan dari arang secara visual.

5.4.2. prosedur

pemeriksaan dilakukan secara visual.

5.5. Daya Serap terhadap Iodium

5.5.1. prinsip

Arang mempunyai daya menyerap larutan I_2 . Berkurangnya kepekatan 0,1 N larutan I_2 diperhitungkan sehingga mendapatkan daya serap terhadap I_2 .

5.5.2. Pereaksi

- Larutan Iod 0,1 N
- Larutan natrium tio-sulfat 0,1 N
- Larutan kanji 1%

5.5.2.1. Larutan Iod 0,1 N

Larutan 25,0 g KI dengan 30 ml air ke dalam labu ukur 1.000 ml, tambahkan 13 g I_2 ke dalam larutan tadi kocok sampai larut. jadikan 1.000 ml volumenya dengan air. larutan disiapkan segera sebelum digunakan. Disimpan di tempat yang sejuk dan gelap. Larutan Iod ini hanya boleh dipergunakan sampai 10 hari.

Standarisasi:

Pipet 25 ml larutan dan titar dengan larutan natrium tio sulfat 0,1 N. Bila warna kuning dari larutan menjadi samar, tambah 1 ml laru-

tan kanji 1% sebagai indikator. Titar dengan teratur sampai warna biru dari larutan hilang. Batas N larutan Iod yang boleh digunakan antara 0,09001 0, 10999.

5.5.2.2. Larutan natrium tio-sulfat 0,1 N

Larutkan 26 g natrium ti-suflat(5 hidrat) tambahkan ± 0,2 Na₂CO₃ dengan 1 liter air yang bebas asam karbonat. Tambahkan ± 10 ml isoamil alkohol dan kocok larutan dengan baik. Tutup botol dengan baik dan biarkan selama 2 hari.

Standarisasi:

Panaskan KIO₃ selama 1,5 sampai 2 jam di dalam oven (130 ± 10°C) dan dinginkan dalam desikator. Timbang 1-1,5 g KIO₃ dan larutkan dalam air.

Pindahkan larutan ke dalam labu ukur 250 ml dan tambah air sehingga tanda garis.

pipet 20 ml larutan ke dalam Erlenmeyer 250 ml bertutup asah dan tambah 2 g KI dan 5 ml H₂SO₄ (1 : 5). Segera tutup dan kocok Erlenmeyer hati-hati. ~~Diadakan di ruangan gelap selama 5 menit.~~ Tambahkan 100 ml air dan titar, Iod yang dibebaskan dengan larutan natrium tio-sulfat 0,1 N. Bila warna kuning dari larutan telah samar tambah 1 ml larutan kanji 1% sebagai indikator. Titar dengan teratur sampai warna biru dari larutan hilang.

perhitungan : N natrium tio-sulfat =

$$a \times \frac{b}{100} \times \frac{20}{250}$$

$$(C-C_1) \times 0,03567$$

Dimana :

a = Bobot KIO₃, gram

b = Kemurnian KIO₃ yang digunakan sebagai baku.

c = penitaran, ml

PT. LAUTAN LUAS

Komp. Ambengan Plaza B : 35-36-37
 Jl. Ngemplak 30, P.O. Box. 1345 Sbv.
 SURABAYA - 60272
 ☎ (031) 5319635-7, 5453734-6, 5319634
 Fax. (62)-(31) 5319634

$C_1 = \text{Blanko, ml}$

0,03567 = Jumlah KIO_3 yang sesuai dengan 1 ml larutan tio 0,1 N. ...

5.5.2.3. Larutan kanji 1%

Tambahkan 10 ml air ke dalam 1 g kanji dan aduk hingga tercampur baik. Tambahkan 100 ml air panas, aduk dan didihkan larutan beberapa menit. Larutan disiapkan segar sebelum dipakai.

5.5.3. Peralatan

- Oven
- Sentrifugal separator
- Tabung sentrifugal
- Erlenmeyer bertutup
- Desikator
- Buret
- Pipet 20 ml
- pipet 50 ml
- pipet 10 ml
- labu ukur 1000 ml.

5.5.4. Prosedur

Contoh harus dipanaskan terlebih dahulu di oven pada $115 \pm 5^\circ\text{C}$ selama 1 jam. Dinginkan pelan-pelan desikator. Timbang teliti 0,5 g contoh dan dipindahkan ke dalam tempat berwarna gelap dan tertutup. Tambahkan dengan teliti (pipet) 50 ml larutan iod 0,1 N. Kocok dengan alat pengocok selama 15 menit pada suhu kamar, kemudian dipindahkan ke dalam tabung sentrifugal dan pusingkan sampai contoh turun dan cairannya bening. Pipet 10 ml cairan bening itu dan titar dengan larutan natrium tio-sulfat 0.1 N. Jika warna kuning dari larutan samar tambahkan larutan kanji 1% sebagai indikator. Titar kembali dengan teratur sampai mendapatkan titik akhir bila warna biru larutan hilang.

PT. LAUTAN LUAS

Komp. Ambengan Plaza B: 35-36-37

II Ngemplak 30, P.O. Box. 1345 Sby.

SURABAYA - 60272

☎ 031 5319635-7, 5453784-6, 5319827

Fax: 0621-1311 5319634

perhitungan:

Iod yang diadsorpsi, mg/g =

$$\frac{(10 - \frac{V \times N}{0,1}) \times 12,69 \times 5}{(W)}$$

Dimana :

V = Larutan natrium tio-sulfat yang diperlukan, ml.

N = Normalitas larutan natrium tio-sulfat

12,69 = Jumlah Iod sesuai dengan 1 ml larutan natrium tio-sulfat 0,1 N

W = Contoh, gram

5.6. Karbon Aktif Murni

5.6.1: Prinsip

Dihitung dari contoh dengan mengurangi abu dan yang hilang pada pemanasan 950°C.

5.6.2. Prosedur

Hasil perhitungan, pengurangan 100% terhadap bagaian yang hilang pada pemanasan 950°C dan kadar abu.

perhitungan:

$$\text{Karbon Aktif murni, \%} = 100 - (A + B)$$

Dimana:

A = Yang hilang pada pemanasan 950°C

B = Abu, %

5.7. Daya Serap terhadap Benzena

PT. LAUTAN LILAS

Korp. Ambengan Plaza B : 35-35-37
Jl. Ngemplak 30, P.O. Box. 1345 Sby.
SURABAYA - 60272
T (031) 5319635-7, 5453734-5, 5214821
Fax. (62)-(31) 5319634

5.7.1. Prinsip

Arang aktif mempunyai daya serap terhadap uap benzena, bertambahnya bobot pada arang aktif dihitung sebagai daya serap terhadap benzena.

5.7.2. Peralatan

- penagas air
- Alat penyerap benzena (lihat gambar 1)
- N e r a c a

5.7.3. Prosedur

Timbang teliti 5-10 g contoh arang aktif yang sebelumnya telah dikeringkan pada suhu $115^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 3 jam. Masukkan contoh kedalam pipa U yang telah diketahui bobotnya. Hubungkan pipa U yang telah berisi contoh dengan tabung reservoir benzena (tabung benzena, tabung U dan tabung spiral). Untuk penyesuaian suhu alat direndam dalam penagas air pada suhu $(25^{\circ} \pm 0,2^{\circ}\text{C})$. Alirkan udara kering ke dalam tabung spesial dan tabung reservoir pada kecepatan V selama 2 jam, hentikan dan timbang tabung U. Alirkan lagi uap benzena melalui tabung U selama $\frac{1}{2}$ jam dan timbang lagi, ulangi perlakuan ini sampai diperoleh bobot tetep.

perhitungan:

penyerapan contoh terhadap benzena, %

$$= W_2 - \frac{(W_1 + 5)}{W} \times 100$$

Dimana:

W_2 = Bobot pipa U + contoh + benzena yang diserap, gram

W_1 = Bobot pipa U kosong, gram

W = Bobot contoh, gram

P.T. LAUTAN LUAS

Komp. Ambengan Plat B: 35-36-37

Jl. Ngemplak 30, P.O. Box 1345 Sby.

SURABAYA - 60272

☎ (031) 5319635-7, 5453734-3, 5314827

Fax. (021)-(31) 5319834

5.8. Daya Serap terhadap Biru Metilena

5.8.1. prinsip

Arang aktif mempunyai daya menyerap warna biru metil. Berkurangnya warna larutan biru metil diperhitungkan sehingga mendapatkan daya serap terhadap biru metil.

5.8.2. Pereaksi

- Larutan biru metil 0,12%
- Larutan dasar 4:6 (M/15 KH_2PO_4 : M/15 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$).

Cara membuat pereaksi :

5.8.2.1. Larutan dasar

- Timbang 9,072 g KH_2PO_4 masukkan labu ukur 1500 ml larutkan dengan air sampai tanda garis.
- Timbang 23,868 g Na_2HPO_4 masukkan dalam labu

ukur 1000 ml dan ecerkan sampai tanda garis. Campurkan larutan KH_2PO_4 dan larutan $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ (4 : 6)

5.8.2.2. Larutan biru metil 0,12%

Tetapkan kadar air biru metil.

Hitung dahulu biru metil yang diperlukan dengan perhitungan:

Jumlah biru metil yang diperlukan.

$$W = S \times \frac{100}{100 - E} \times V \quad \rightarrow \quad S = \frac{W}{V} \times \frac{100 - E}{100} \times 100\%$$

Dimana:

S = Kadar biru metil yang diinginkan (0,12)

E = Kadar air

W = Jumlah biru metil yg diperlukan

V = Volume yang diinginkan

Timbangan biru metil sebanyak hasil perhitungan, lalu larutkan dalam larutan dapar sebanyak volume yang diinginkan (A). Pipet 10 ml larutan biru metil (A) ke dalam labu ukur 500 ml dan ecerkan dengan air suling hingga tanda garis, kocok (B). Pipet 5 ml larutan B masukan ke dalam labu ukur 500 ml dan ecerkan dengan air suling sampai tanda garis setelah sebelumnya ditambah dahulu larutan dapar (C).

5.8.3. Peralatan

- Labu ukur 1500 ml
- Labu ukur 500 ml
- pipet 10 ml
- pipet 5 ml
- N e r a c a
- O v e r
- B u r e t
- Erlenmeyer bertutup asah

5.8.4. Prosedur

Timbang ke dalam Erlenmeyer 250 ml 0,1 g contoh yang telah dikeringkan, kemudian titar dengan larutan biru metil sambil sekali-kali dikocok kuat-kuat. Penitaran berakhir bila warna larutan di atas contoh sama dengan warna larutan C.

perhitungan:

Jumlah larutan biru metil dapat diserap, mg/gram
=

$$V \times \frac{1}{W}$$

Dimana:

V = Jumlah biru metilena yang diserap (penitaran ml).

W = Bobot contoh, gram

PT. LAUTAN LUAS

Komp. Ambengan Plaza B: 35-36-37
Jl. Ngemplak 30, P.O. Box. 1345 Sby.

SURABAYA - 60272

Tel. (031) 5319635-7, 5483734-6, 5314827

Fax. (031) (031) 5319634

5.9. Kerapatan Jenis Curah

5.9.1. Prinsip

perbandingan berat contoh terhadap volume tertentu dihitung sebagai kerapatan jenis curah.

5.9.2. Peralatan

- N e r a c a
- Desikator
- Tabung untuk penetapan kerapatan jenis curah (lihat gambar 2).

5.9.3. Prosedur

Isikan contoh yang telah dikeringkan pada 120°C ke dalam tabung berisi sebanyak 1/5 volume tabung. Ketuk pelan-pelan sampai tinggi permukaan contoh tetap. ulangi pekerjaan ini beberapa kali sampai contoh mencapai batas permukaan volume tabung itu, ratakan permukaan contoh dengan pinggir penggaris. Keluarkan contoh dari tabung, keringkan, dinginkan dan timbang.

perhitungan:

$$\text{kerapatan jenis contoh, g/ml} = \frac{w}{v}$$

Dimana:

w = Bobot contoh dalam tabung, gram

v = Volume tabung, ml.

5.10. Lolos Ukuran Mesh 325

5.10.1. Prinsip

Contoh yang lolos ayakan ukuran 325 mesh dihitung sebagai lolos mesh 325.

P.T. LAUTAN LUAS

Comp. Ambengan Plaza B: 35-36-37
Jl. Ngemplak 30, P.O. Box. 1345 Sby.
SURABAYA - 60272
T. (031) 5319635-7, 5453734-6, 5314827
Fax. (62)-(31) 5319634

5.10.2. Peralatan

- Saringan 325 mesh dengan alas penerima dan tutupnya.
- Alat penggetar
- Neraca

5.10.3. Prosedur

Timbang 100 g contoh yang telah dikringkan pada $115 \pm 5^\circ\text{C}$. Tempatkan contoh ke dalam saringan, letakkan tutupnya dan pasang pada alat penggetar. Getarkan dengan hati-hati selama 10 menit. Timbang contoh yang ada dalam alas penerima.

perhitungan:

W_1
Kehilangan lolos dalam ukuran mesh 325, % =

$$\frac{W_1}{W} \times 100$$

Dimana:

W_1 = Bobot contoh yang lolos yang ada dalam penerima, gram

W = Bobot contoh, gram

5.11. Jarak Mesh

5.11.1. Prinsip

Jumlah contoh yang tinggal dalam tiap ayakan dihitung sebagai jarak mesh.

5.11.2. Peralatan

- Ayakan dengan ukuran yang sesuai
- Alat penggetar ayakan
- N e r a c a
- O v e n

P.T. LAUTAN LUAS

Komp. Ambengan Plaza B : 35-36-3,
Jl. Ngemplak 30, P.O. Box. 1345 Sbv.
SURABAYA - 60272
☎ (031) 5319635-7, 5453734-5, 5314881
Fax. (031) (031) 5315534

5.11.3. Prosedur

Masukkan 100 g contoh yang telah dikeringkan ke dalam ayakan yang telah disusun sedemikian rupa menggunakan 6-7 ayakan, nomor ayakan yang besar berada diatas dan seterusnya hingga nomor ayakan yang kecil (misal, No.4, No.8, No.12, No.16, No.30, No.35). Guncang dengan penggetar ayakan dengan kecepatan ± 175 rpm (± 7 skala pada skala penggetar ayakan) selama 10 menit. setelah 10 menit, contoh arang aktif yang jatuh pada masing-masing ayakan diambil kecuali yang dalam ayakan paling atas dan yang dalam penampungan dan dikeringkan kembali hingga kandungan air hilang, kemudian dinginkan dan timbang.

perhitungan:

Contoh yang lolos pada tiap-tiap ayakan,

$$\% = \frac{W_1}{W_2} \times 100$$

Dimana :

W_1 = Berat contoh yang terdapat pada tiap-tiap ayakan, gram

W_2 = Berat contoh, gram

Kesalahan yang diperbolehkan kurang lebih 2 %

5.12. Kekerasan

5.12.1. Prinsip

Contoh dipersiapkan sebagai contoh yang lolos ayakan ukuran mesh terbesar (4). Kemudian digiling pada alat penguji kekerasan bersama beberapa butir bola baja. Contoh yang tertinggal dalam ayakan ukuran mesh 2 tingkat lebih kecil dan ukuran mesh terkecil, dihitung sebagai kekerasan.

P.T. LAUTAN LUAS

Komp. Ambengan Plaza B : 35-36-37
Jl. Ngemplak 30, P.O. Box. 1345 Sbv.
SURABAYA - 60272
T (031) 5319635-7, 5453734-6, 530483
Fax. (52) (51) 5319634

5.12.2. Peralatan

1. Ayakan (sieve) (lihat gambar 3)
2. Alat penggetar ayakan (sieve vibrator)
3. Alat penguji kekerasan (terbuat dari plat kuningan)

5.12.3. Prosedur

- Ayak contoh selama 10 menit dalam 2 buah ayakan dengan ukuran mesh yang tertinggi dan terendah pada kisaran ukuran butir contoh.
- Masukkan contoh yang sudah diayak kedalam gelas ukur 250 ml sebanyak 100 ml, mampatkan sedikit kemudian timbang sampai 2 angka dibelakang koma.
- Masukkan kedalam alat uji kekerasan bersama-sama dengan 15 buah bola baja ukuran 12,7 mm dan ϕ 9,5 mm.
- Kocok contoh pada alat penggetar ayakan selama 30 menit.
- Pisahkan bola bajanya, lalu contoh masukkan ke dalam ayakan dengan ukuran 2 tingkat lebih kecil dari ukuran ayakan terendah pada kisaran ukuran butir dengan penampung dibawahnya. kocok contoh selama 3 menit, lalu timbang sampai 2 angka dibelakang koma, contoh yang tertinggal dalam ayakan tertampung pada penampung.

Contoh :

Bila jumlah contoh dari ayakan dan penampung berkisar 2 % atau lebih dari contoh asal, lalu ulangi uji.

Perhitungan :

$$\text{Kekerasan, \%} = \frac{W_1}{W_2} \times 100$$

PT. LAUTER LUAS

Komp. Ambengan Plaza B: 35-36-37
Jl. Ngemplak 30, RD. 55X.1345 Sby.
SURABAYA - 60272
☎ (031) 5319635-7, 5319734-6, 531482
Fax. (031) 5319634

Dimana :

W_1 = Bobot contoh dalam ayakan atau gram

W_2 = Bobot contoh asal, gram

6. CARA PENGEMASAN

Arang aktif teknis dalam wadah yang tertutup rapat, kedap udara, tidak dipengaruhi dan mempengaruhi isi, aman selama transportasi dan penyimpanan.

7. SYARAT PENANDAAN

Pada label harus dicantumkan ukuran mesh untuk butiran, merk dagang, jenis mutu, kerapatan jenis, kode produksi, nama dan alamat perusahaan, berat netto dan lain-lain sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

PT. LAUTAN LUAS

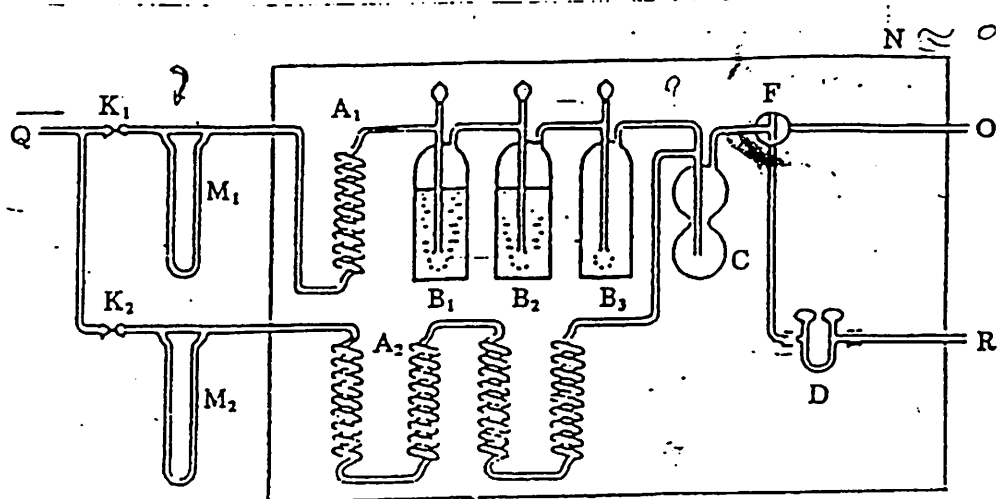
Komp. Ambengan Plaza B : 35-36-37
Jl. Ngemplak 30, P.O. Box. 1345 Sby.

SURABAYA - 60272

☎ (031) 5319635-7, 5453734-6, 5314827

Fax: (021)-(031) 5319634

LAMPIRAN :



Gambar 1
Alat Penyerap Benzena

Keterangan :

- A1, A2 = Gulungan/spiral untuk memelihara temperatur.
- B1, B2 = Pembangkit uap larutan, diameter sebelah luar 60 mm, diperlengkapi dengan filter gelas.
- B3 = Botol kosong
- C = Botol pencampur, tipe dua bola lampu, diameter 60 mm.
- D = Pipa U
- F = Kran berbentuk T.
- M1 = Alat untuk menentukan aliran uap larutan.
- M2 = Alat untuk menentukan aliran udara kering.
- N = Termostat
- O = Saluran keluar, gas berlebihan.
- Q = Saluran udara masuk.
- R = Saluran keluar, pembuangan gas.

PT. LAUTAN LIAS

Komp. Ambengan Plaza B: 35-36-37
Jl. Ngemplak 30, P.O. Box. 1345 Sby.
SURABAYA - 60272

Tel. (031) 5319635-7, 5458724-6, 531482
Fax. (62)-(31) 5319800

persiapan udara yang mengandung uap benzena. Aturan termostat pada temperatur yang ditentukan. Masukkan larutan ke dalam uap generator B1 dan B2 sesuai gambar dan setel kran F ke arah O. Perhitungan nilai jumlah udara kering (V_1 l/menit) dengan mengatur klek K1. perhitungan nilai jumlah udara kering untuk ditambahkan (V_2 l/menit) dengan mengatur klek K2.

Aliran kecepatan dari udara kering V_1 dan V_2 dapat diperoleh dari:

$$V_t = 2 \times 1/n \times \left(1 - \frac{p}{760} \right)$$

$$V_1 = 2 \times 1/n \times \left(1 - \frac{p}{101,3} \right) \quad V_2 = 2 \left(1 - \frac{1}{n} \right)$$

V_1 = Kecepatan aliran udara kering

V_2 = Kecepatan aliran udara kering untuk ditambahkan (l/menit)

$1/n$ = Kadar kejenuhan larutan

p = Tekanan uap jenuh dari larutan sebelum ditentukan, temperaturnya (mm Hg (KPa)).

Sebagai contoh perhitungan dari kadar benzena pada tingkat kejenuhan $1/10$ dan pada temperatur 25°C .

Tekanan uap jenuh dari benzena 95 mm Hg (12,7 kpa) pada 25°C .

$$V = 2 \times 1/10 \times \left(1 - \frac{95}{760} \right) = 0,175 \text{ (l/menit)}$$

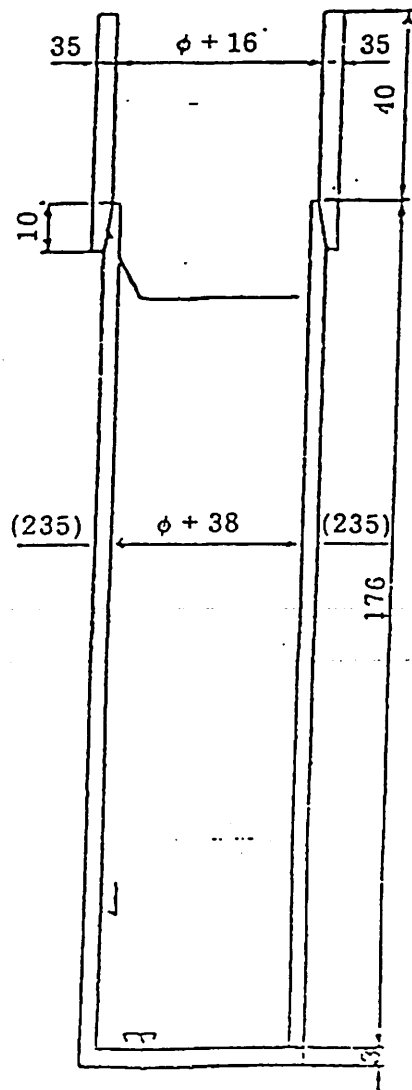
$$V_1 = 2 \times 1/10 \times \left(1 - \frac{12,7}{101,3} \right) = 0,175 \text{ (l/menit)}$$

$$V_2 = 2 \times (1/10) = 1,80 \text{ (l/menit)}$$

Dimana nilai udara kering pada M1 dan M2 0,175 l/menit dan 1,80 l/menit, atau K1 dan K2 berturut-turut, campuran udara dari $1/10$ tingkat kejenuhan adalah 2 l/menit dihasilkan pada kecepatan 2 l/menit.

PT. LAUTAN LUAS

Jomb. Ambengan Plaza B: 35-36-37
 Komplek 30, P.O. Box. 1345 Sby.
 SURABAYA - 60272
 Telp. 5319635-7, 5453734-6, 5314827
 Faks. 5319634

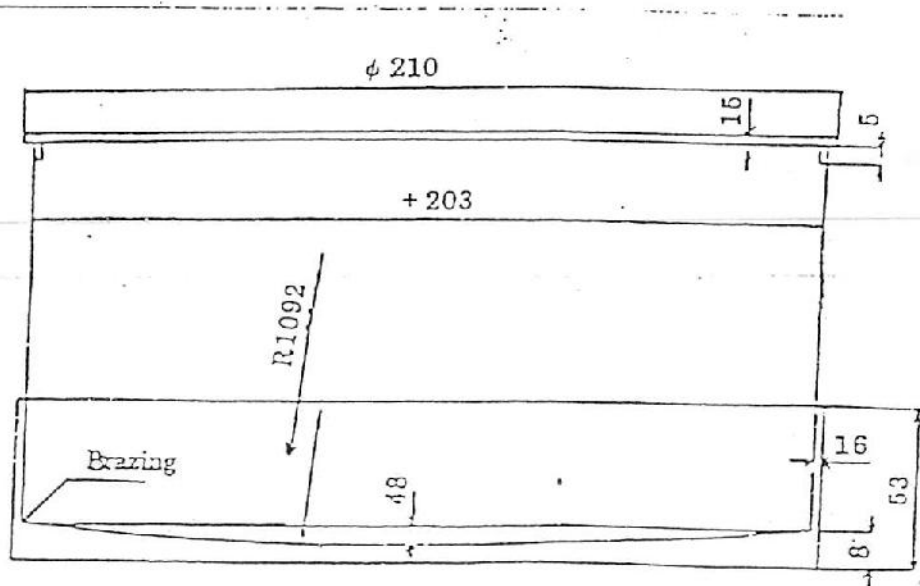


PT. LAUTAN LUAS

Jl. Ambengan Plaza B : 35-36-37
 Blok 30, P.O. Bkt. 1345 Sby.
 SURABAYA - 60272
 Telp. 5319635-7, 5453734-6, 5314821
 Fax. 5314821-1311 5319634

Gambar 2

Kerapatan Jenis Curah



P.T. LAUTAN LUAS

Komp. Ambengan Plaza B: 35-36-37
 Jl. Ngemplak 30, P.O. Box. 1345 Sby.
 SURABAYA - 60272
 ☎ (031) 5319635 -7, 5453734 -6, 5314827
 Fax. (621)-(31) 5319634

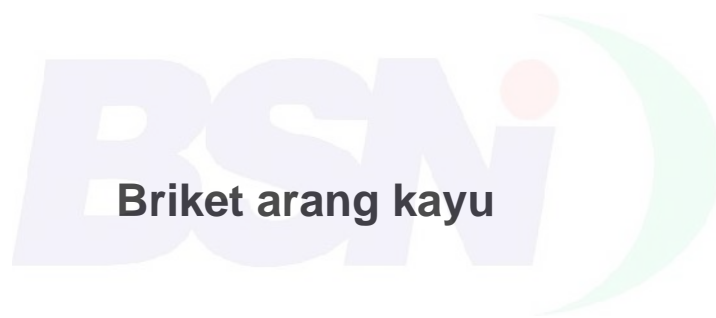
Gambar 3

Ayakan

SNI

SNI 01-6235-2000

Standar Nasional Indonesia



"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk penayangan di website dan tidak untuk dikomersialkan"

Pendahuluan

Perumusan Standar Nasional Indonesia (SNI) Briket arang kayu disusun dengan pertimbangan selain untuk melindungi konsumen juga untuk :

- melindungi produsen
- menjaga konsistensi mutu
- menunjang ekspor non – migas
- menunjang Instruksi Menteri Perindustrian No. 04/M/INS/10/1989

Standar ini disusun berdasarkan hasil pembahasan dalam rapat teknis, rapat prakonsensus pada tanggal 28 Oktober 1999 di Balai Industri Samarinda, dan terakhir dibahas dalam Rapat Konsensus Nasional yang diselenggarakan di Jakarta pada tanggal 25 Nopember 1993 serta dihadiri oleh wakil-wakil dari Asosiasi Produsen, konsumen, lembaga ilmu pengetahuan dan teknologi serta instansi Pemerintah terkait.

Standar Nasional Indonesia (SNI) Briket arang kayu ini disusun oleh Balai Penelitian dan Pengembangan Industri, Departemen Perindustrian dan Perdagangan Samarinda.



Daftar isi

	Halaman
Pendahuluan	i
Daftar isi	ii
1/ Ruang lingkup	1
2/ Acuan	1
3/ Definisi	1
4/ Syarat mutu.	1
5/ Pengambilan contoh	2
6/ Cara uji	2
7/ Syarat lulus uji	4
8/ Pengemasan	4
9/ Syarat penandaan	4

Briket arang kayu

1 Ruang Lingkup.

Standar ini meliputi ruang lingkup, acuan, definisi, syarat mutu, pengambilan contoh, cara uji, syarat lulus uji, syarat penandaan dan pengemasan untuk briket arang kayu.

2 Acuan

2.1 SNI. 06-3730-1995. Arang aktif teknis

2.2 BSI (BS 1016 : Part 5: 1977), *Methods for Analysis and Testing of Coal and Coke*.

3 Definisi.

Briket arang kayu adalah serbuk arang kayu dan bahan penolong dicetak dengan bentuk dan ukuran tertentu yang dikeraskan melalui proses pengepresan yang digunakan untuk bahan bakar.

4 Syarat mutu

Syarat mutu briket arang kayu seperti yang tertera di bawah ini.

Tabel

Spesifikasi persyaratan mutu briket arang kayu

No.	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
1.	Kadar air b/b	%	Maksimum 8
2.	Bagian yang hilang pada pemanasan 90 °C	%	Maksimum 15
3.	Kadar abu	%	Maksimum 8
4.	Kalori (ADBK)	kal/g	Minimum 5000

5 Pengambilan contoh

Cara pengambilan contoh sesuai dengan SNI. 19-0428-1998, Petunjuk pengambilan contoh padatan.

6 Cara uji

6.1 Persiapan contoh

Contoh briket arang kayu sebelum diuji dihaluskan sampai kehalusan lolos dari ayakan 60 mesh.

6.2 Kadar air.

Cara uji kadar air sesuai dengan SNI. 06-3730-1995, Arang aktif teknis, butir 5.2.

6.3 Bagian yang hilang pada pemanasan 950° C.

Cara uji Bagian yang hilang pada pemanasan 950° C sesuai dengan SNI. 06-3730-1995, Arang aktif teknis, butir 5.1.

6.3.1 Prinsip

Zat-zat organik yang terikat dalam arang akan menguap pada pemanasan tanpa oksigen pada suhu 950° C. Kehilangan bobot contoh dihitung sebagai yang hilang pada pemanasan 950° C selama 7 menit.

6.3.2 Peralatan

- a) Tanur dengan penunjuk suhu
- b) Cawan dengan penutup
- c) Kasa asbes
- d) Penjepit tahan panas panjang
- e) Sarung tangan
- f) Eksikator
- g) *Stop watch*

6.3.3 Prosedur

Timbang 1-2 g contoh ke dalam cawan yang sudah diketahui bobotnya. Tutup cawan dan masukkan ke dalam tanur yang suhunya 950° C. Panaskan selama 7 menit kemudian angkat lalu dinginkan dalam eksikator. Setelah dingin lalu ditimbang.

6.3.4 Perhitungan

$$\text{Bagian yang hilang pada pemanasan } 950^{\circ} \text{ C (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \%$$

Keterangan :

W_1 adalah bobot contoh semula, g

W_2 adalah bobot contoh setelah pemanasan, g

6.4 Kadar abu.

Cara uji kadar abu sesuai dengan SNI. 06-3730-1995, Arang aktif teknis, butir 5.3

Handwritten scribbles and a question mark.

6.5 Kalori

6.5.1 Prinsip

Nilai kalori merupakan hasil pembakaran contoh dengan bantuan oksigen dalam *bomb calorimeter* pada kondisi tertentu.

6.5.2 Peralatan

- a) *Bomb calorimeter*
- b) Alat pembuat pelet contoh
- c) Alat penggiling contoh
- d) Erlenmeyer
- e) Buret
- f) Ayakan ukuran 60 mesh
- g) *Fuse wire*

6.5.3 Bahan

- a) Larutan Na_2CO_3 0, 0709 N, dapat juga digunakan larutan NaOH atau KOH dengan konsentrasi yang sama.
- b) Indikator Merah Metil atau Sindur Metil.

6.5.4 Prosedur

- 1) Timbang contoh yang sudah dihaluskan kurang lebih 1 g dan kemudian dipres berbentuk pelet.
- 2) Ukur 10 cm *fuse wire*, hubungkan dengan masing-masing elektroda dan kenakan pada pelet contoh di dalam *bomb*.
- 3) Isi gas oksigen ke dalam *bomb*, maksimum 30 atm.
- 4) Tutup kontrol aliran gas, tunggu beberapa saat kemudian buang sisa oksigen dalam selang hingga regulator menunjukkan angka nol.
- 5) Isi *bucket* dengan air suling $\pm 1,5$ liter.
- 6) Letakkan *bucket* dalam *calorimeter*, masukkan *bomb* ke dalam *bucket* hingga tepat kedudukannya lalu hubungkan terminal kabel pada *bomb*.
- 7) Tutup *calorimeter*, hubungkan alat pengaduk, tunggu 5 menit hingga suhu air suling dalam *bucket* tidak berubah
- 8) Catat suhu awal pada termometer.
- 9) Tekan *ignition unit* hingga lampu indikator mati, lanjutkan menekan ± 5 menit.
- 10) Catat kenaikan suhu pada termometer.
- 11) Tunggu ± 3 menit lalu catat suhu akhir pada termometer.
- 12) Buka *calorimeter* dan keluarkan *bomb*. buang sisa gas oksigen dari dalam *bomb* sehingga habis seluruhnya.
- 13) Bilas permukaan *bomb*, pindahkan air dari *bucket* ke dalam erlenmeyer.
- 14) Ukur sisa *fuse wire* yang tidak terbakar.
- 15) Titrasi air dari *bucket* dengan larutan Na_2CO_3 dengan menggunakan indikator merah metil atau sindur metil.

6.5.5 Perhitungan

$$\text{Perhitungan : Hg (ca/g)} = \frac{tw - l_1 - l_2 - l_3}{M}$$

Keterangan :

- Hg adalah kalori per gram contoh
t adalah kenaikan temperatur pada termometer
w adalah 2426 kalori / ° C
l₁ adalah ml Natrium karbonat yang terpakai untuk titrasi
l₂ adalah 13,7 x 1,02 x berat contoh
l₃ adalah 2,3 x panjang *fuse wire* yang terbakar.
m adalah berat contoh g

7 Syarat Lulus Uji.

Contoh uji dinyatakan lulus, apabila telah memenuhi persyaratan butir 4

8 Pengemasan

Briket arang kayu dikemas dalam wadah tertutup rapat tidak dipengaruhi dan mempengaruhi isi, aman selama penyimpanan dan transportasi.

9 Syarat Penandaan

Pada bagian luar kemasan harus dicantumkan keterangan antara lain :

- Nama produsen
- Nama barang
- Berat bersih

Briket/ds/99



BADAN STANDARDISASI NASIONAL - BSN
Gedung Manggala Wanabakti Blok IV Lt. 3-4
Jl. Jend. Gatot Subroto, Senayan Jakarta 10270
Telp: 021- 574 7043; Faks: 021- 5747045; e-mail : bsn@bsn.go.id



LAMPIRAN E

**(Perhitungan WRI dan Reduksi Gas
Metana)**

Lampiran E. Perhitungan WRI dan Reduksi Gas Metana

1. Perhitungan Laju Konsumsi Sampah

Berat bayi larva rata-rata = 0,0016 gram/larva

Jumlah Larva = Massa total bayi larva yang digunakan \times jumlah larva
 $= 3 \text{ gram} \times \frac{1 \text{ ekor}}{0,0016 \text{ gram}}$
 $= 1.875 \text{ ekor larva}$

Laju Konsumsi Sampah Hari Ke 1, 3, dan 5

Massa Pakan = 100 gram

Jarak Pemberian Pakan = 2 hari

Laju Konsumsi Sampah = $\frac{\text{Massa Pakan}}{\text{Jumlah Larva} \times \text{Waktu}}$
 $= \frac{100 \text{ gram}}{1.875 \text{ ekor} \times 2 \text{ hari}}$
 $= 0,03 \text{ g/larva.hari}$
 $= 30 \text{ mg/larva.hari}$

Laju Konsumsi Sampah Hari Ke 7, 9, 11 dan 13

Massa Pakan = 300 gram

Jarak Pemberian Pakan = 2 hari

Laju Konsumsi Sampah = $\frac{\text{Massa Pakan}}{\text{Jumlah Larva} \times \text{Waktu}}$
 $= \frac{300 \text{ gram}}{1.875 \text{ ekor} \times 2 \text{ hari}}$
 $= 0,08 \text{ g/larva.hari}$
 $= 80 \text{ mg/larva.hari}$



2. Data Larva

Berikut adalah data larva pada akhir pengamatan.

Tabel E.1 Data Massa Satu Ekor Larva Tiap Ulangan

Penimbangan	Massa 1 ekor larva				
	U 1	U 2	U 3	U 4	U 5
1	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15
2	0,15	0,16	0,15	0,15	0,15
3	0,13	0,15	0,14	0,15	0,15
4	0,15	0,14	0,14	0,15	0,16
5	0,17	0,15	0,14	0,15	0,16
Rata-rata	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16
Rata-rata±SE	0,15±0,006	0,15±0,003	0,15±0,002	0,15±0,001	0,16±0,002
Rata-rata Total±SE					0,15±0,002

Keterangan : U = Ulangan

Tabel E.2 Data Massa Total Larva BSF Tiap Ulangan

Ulangan	Total Larva (Gram)
1	239,00
2	261,00
3	231,00
4	228,00
5	234,00
Rata-rata	238,60
Rata-rata±SE	238,60±5,887

3. Data Pakan

A. Kadar Air Pakan

Tabel E.3 Data Massa Pakan

Pemberian Sampah Ke-...	Massa Basah (g)	Massa Kering (g)
1	100,00	40,00
2	100,00	54,00
3	100,00	39,00
4	300,00	105,00
5	300,00	120,00
6	300,00	156,00
7	300,00	180,00
Total	1.500,00	694,00

Contoh perhitungan kadar air adalah sebagai berikut.

Hari ke-1

Massa Awal = 100,00 g

Massa Akhir = 40,00 g

Kadar Air = $\frac{\text{Massa Awal} - \text{Massa Akhir}}{\text{Massa Awal}} \times 100\%$

$$= \frac{100,00 \text{ g} - 40,00 \text{ g}}{100,00 \text{ g}} \times 100\%$$

Kadar Air = 60,00%

Berikut rekapitulasi kadar air.

Tabel E.4 Data Kadar Air Pakan

Pemberian Sampah Ke-...	Kadar Air (%)
1	60,00
2	46,00
3	61,00
4	65,00
5	60,00
6	48,00
7	40,00
Rata-rata	54,29

B. Regresi Linear Pakan Basah dan Pakan Kering

Berikut adalah perhitungan regresi linear pakan basah dan pakan kering untuk memperkirakan massa kering sampah makanan di Kota Padang.

Tabel E.5 Perhitungan Regresi Linear Pakan Basah dan Pakan Kering

Pemberian Sampah Ke-...	x [Massa Basah (g)]	y [Massa Kering (g)]	x ²	x.y
1	100,00	40,00	10.000	4.000
2	100,00	54,00	10.000	5.400
3	100,00	39,00	10.000	3.900
4	300,00	105,00	90.000	31.500
5	300,00	120,00	90.000	36.000
6	300,00	156,00	90.000	46.800
7	300,00	180,00	90.000	54.000
Total	1.500,00	694,00	390.000	181.600

Perhitungan

$$b = \frac{n (\sum x_i y_i) - (\sum x_i) (\sum y_i)}{n (\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2}$$

$$b = \frac{7 (181.600) - (1.500) (694)}{7 (390.000) - (1.500)^2}$$

$$b = 0,48$$

$$a = \frac{(\sum y_i \sum x_i^2) - (\sum x_i) (\sum x_i y_i)}{n (\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2}$$

$$a = \frac{(694 \times 390.000) - (1.500) (181.600)}{7 (390.000) - (1.500)^2}$$

$$a = -3,625$$

Maka: $y = a + bX_i$

$$y = -3,625 + 0,48 X_i \quad (\text{Persamaan 1})$$

4. Data Sisa Reduksi oleh Larva BSF

A. Tingkat Degradasi

Berikut adalah data sisa reduksi oleh larva BSF.

Tabel E.6 Data Sisa Reduksi oleh Larva BSF

Ulangan	Massa Awal		Massa Akhir	
	Basah	Kering	Basah	Kering
1	1.500,00	694,00	172,00	153,00
2	1.500,00	694,00	164,00	140,00
3	1.500,00	694,00	193,00	167,00
4	1.500,00	694,00	143,00	134,00
5	1.500,00	694,00	165,00	145,00

Contoh perhitungan tingkat degradasi adalah sebagai berikut.

Ulangan 1

Massa Awal (Kering) = 694,00g

Massa Akhir (Kering) = 153,00 g

Tingkat Degradasi = $\frac{\text{Massa Awal} - \text{Massa Akhir}}{\text{Massa Awal}}$

= $\frac{694,00 \text{ g} - 153,00 \text{ g}}{694,00 \text{ g}}$

= 0,78

Berikut rekapitulasi tingkat degradasi.

Tabel E.7 Rekapitulasi Tingkat Degradasi

Ulangan	Nilai Degradasi	Persentase Degradasi (%)
1	0,78	78,00
2	0,80	79,80
3	0,76	75,90
4	0,81	80,70
5	0,79	79,10
Rata-rata	0,79	78,70
Rata-rata±SE	0,79±0,008	78,70±0,008

B. Waste Reduction Index (WRI)

Contoh perhitungan WRI adalah sebagai berikut.

Ulangan 1

Tingkat Degradasi = 0,78

Waktu = 14 hari

Tingkat Degradasi = $\frac{\text{Tingkat Degradasi}}{\text{Waktu}} \times 100\%$

= $\frac{0,78}{14} \times 100\%$

= 5,57%/hari

Berikut rekapitulasi tingkat degradasi.

Tabel E.8 Rekapitulasi Waste Reduction Index

Ulangan	Nilai Degradasi	WRI (%/hari)
1	0,78	5,57
2	0,80	5,70
3	0,76	5,42
4	0,81	5,76
5	0,79	5,65
Rata-rata	0,79	5,62
Rata-rata±SE	0,79±0,008	5,62±0,059

4. Reduksi Gas Metana

A. Massa Gas Metana tanpa Reduksi

Timbulan Sampah = 639,41 ton/hari (SIPSN, 2022)

Persentase Sampah Sisa = 62,80% (SIPSN, 2022)

Makanan

Massa Awal Sampah Makanan = 401,55 ton/hari

(Basah)

Massa Kering

$$= y = -3,625 + 0,48 X_i$$

$$y = -3,625 + 0,48 (401,55)$$

$$y = 189,12 \text{ ton/hari (massa kering)}$$

$$\text{Massa Kering dalam Gg (R)} = \frac{189,12 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} \times 365 \text{ hari}}{1000 \frac{\text{ton}}{\text{Gg}}}$$

$$= 69,03 \text{ Gg}$$

$$\begin{aligned} \text{DDOCm Terdeposit} &= R \times \text{DOC} \times \text{DOCf} \times \text{MCF} \\ &= 69,03 \text{ Gg} \times 0,15 \times 0,5 \times 0,5 \\ &= 2,59 \text{ Gg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{1/2} &= 2 \\ k &= \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \\ &= \frac{\ln(2)}{2} \\ &= 0,347 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{DDOCm Terdekomposisi} &= \text{DDOCm Terdeposit} \times (1 - e^{-k*}) \\ &= 2,59 \text{ Gg} \times (1 - e^{-0,347}) \\ &= 0,76 \text{ Gg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_o &= \text{DDOCm Terdekomposisi} \times F \times (16/12) \\ &= 0,76 \text{ Gg} \times 0,5 \times (16/12) \\ &= 0,51 \text{ Gg} \end{aligned}$$

$$\text{CH}_4 \text{ pada tahun 2021 (Januari-)} = [L_o \times T - R_T] \times (1 - OX)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Desember (1 tahun)} &= [0,51 \times 1 - 0] \times (1-0,1) \\
 &= 0,91 \text{ Gg CH}_4 \\
 &= 25,51 \text{ Gg CO}_2\text{e}
 \end{aligned}$$

B. Massa Gas Metana setelah pengolahan BSF

$$\begin{aligned}
 \text{Timbulan Sampah} &= 639,41 \text{ ton/hari (SIPSN, 2022)} \\
 \text{Persentase Sampah Sisa} &= 62,80\% \text{ (SIPSN, 2022)}
 \end{aligned}$$

Makanan

$$\text{Massa Awal Sampah Makanan (Basah)} = 401,55 \text{ ton/hari}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Kering} &= y = -3,625 + 0,48 X_i \\
 &= y = -3,625 + 0,48 (401,55) \\
 &= 189,12 \text{ ton/hari (massa kering)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Reduksi Sampah} &= W - D \times W \\
 &= W - (t \times \text{WRI}) \times W \\
 &= 189,12 \text{ ton/hari} - ((14 \text{ hari} \times 5,62\%/\text{hari}) \times 189,12 \text{ ton/hari}) \\
 &= 40,29 \text{ ton/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Kering dalam Gg (R}_2\text{)} &= \frac{40,29 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} \times 365 \text{ hari}}{1000 \frac{\text{ton}}{\text{Gg}}} \\
 &= 14,71 \text{ Gg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Selisih Massa Kering Sebelum dan Sesudah Budi daya BSF} &= R_1 - R_2 \\
 &= 69,03 \text{ Gg} - 14,71 \text{ Gg} \\
 &= 54,32 \text{ Gg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{DDOCm Terdeposit} &= R_2 \times \text{DOC} \times \text{DOCf} \times \text{MCF} \\
 &= 14,71 \text{ Gg} \times 0,15 \times 0,5 \times 0,5 \\
 &= 0,55 \text{ Gg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{DDOCm Terdekomposisi} &= \text{DDOCm Terdeposit} \times (1-e^{-k}) \\
 &= 0,55 \text{ Gg} \times (1-e^{-0,347}) \\
 &= 0,16 \text{ Gg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lo} &= \text{DDOCm Terdekomposisi} \times F. (16/12) \\
 &= 0,16 \text{ Gg} \times 0,5 \times (16/12) \\
 &= 0,11 \text{ Gg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CH}_4 \text{ pada tahun 2021 (Januari-Desember (1 tahun))} &= [\text{LoT} - \text{R}_T] \times (1-\text{OX}) \\
 &= [0,11 - 0] \times (1-0,1) \\
 &= 0,19 \text{ Gg CH}_4 \\
 &= 5,43 \text{ Gg CO}_2\text{e}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Potensi Reduksi CH}_4 \text{ terbentuk pada tahun 2021} &= \text{CH}_4 \text{ tanpa pengolahan BSF} - \text{CH}_4 \text{ dengan pengolahan BSF} \\
 &= 0,91 \text{ Gg CH}_4 - 0,19 \text{ Gg CH}_4 \\
 &= 0,72 \text{ Gg CH}_4 \\
 &= 20,08 \text{ Gg CO}_2\text{e}
 \end{aligned}$$

Keterangan

- DDOC_m = *Decomposable DOC*, massa DOC yang bisa terdekomposisi (Gg)
- DOC = *Degradable Organic Carbon*, komponen C organik yang dapat terdekomposisi (0,15 untuk sampah makanan)
- DOC_f = Nilai fraksi DOC yang dapat terdekomposisi (0,5)
- MCF = *Methane Correction Factor* (0,5 sesuai kondisi TPA Aie Dingin, Kota Padang)
- R = Massa Sampah Akhir/Residu (Gg)
- k = *Methane generation rate*, tingkat generasi metana ($k = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}}$)
- t_{1/2} = Waktu paruh
- L_o = Potensi gas metana yang terbentuk (Gg)
- F = Nilai fraksi terbentuknya CH₄ (0,5)
- OX = Faktor oksidasi (0,1 sesuai kondisi TPA Aie Dingin, Kota Padang)
- R_T = Gas metana yang dipulihkan (Gg) (0 sesuai kondisi TPA Aie Dingin, Kota Padang)
- $\frac{16}{12}$ = Rasio berat molekul $\frac{\text{CH}_4}{\text{C}}$





LAMPIRAN F
(Uji Kualitas Briket Arang)

Lampiran F. Uji Kualitas Briket Arang

1. Kadar Air

Berikut contoh perhitungan kadar air.

1) Massa Awal Sampel (BB)

$$\begin{aligned} \text{Massa Cawan} &= 19,447 \text{ g} \\ \text{BB + Cawan} &= 20,463 \text{ g} \\ \text{BB} &= \text{BB + Cawan} - \text{Massa Cawan} \\ &= 20,463 \text{ g} - 19,447 \text{ g} \\ &= 1,016 \text{ g} \end{aligned}$$

2) Massa Akhir Sampel (BKT)

$$\begin{aligned} \text{Massa Cawan} &= 19,447 \text{ g} \\ \text{BKT + Cawan} &= 20,421 \text{ g} \\ \text{BKT} &= \text{BKT + Cawan} - \text{Massa Cawan} \\ &= 20,421 \text{ g} - 19,447 \text{ g} \\ &= 0,974 \text{ g} \end{aligned}$$

3) Kadar Air

$$\begin{aligned} \text{Kadar Air} &= \frac{\text{BB} - \text{BKT}}{\text{BB}} \times 100\% \\ &= \frac{1,016 \text{ g} - 0,974 \text{ g}}{1,016 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 4,096 \text{ \%} \\ &= 4,10 \text{ \%} \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan kadar air dapat dilihat pada **Tabel F.1**.

Tabel F.1 Rekapitulasi Perhitungan Kadar Air

No.	Keterangan	Satuan	10%		15%	
			Uji 1	Uji 2	Uji 1	Uji 2
1.	Cawan Kosong	g	19,447	30,567	26,292	26,045
2.	BB + Cawan	g	20,463	31,570	27,301	27,050
3.	BB	g	1,016	1,003	1,010	1,005
4.	BKT + Cawan	g	20,421	31,530	27,266	27,014
5.	BKT	g	0,974	0,963	0,975	0,969
6.	Kadar Air	%	4,10	4,01	3,49	3,56
7.	Rata-rata	%	4,01±0,045		3,53±0,035	

2. Kadar Abu

Berikut contoh perhitungan kadar abu.

1) Massa Sampel

$$\begin{aligned} \text{Massa Cawan} &= 22,442 \text{ g} \\ \text{Massa Sampel + Cawan} &= 24,445 \text{ g} \\ \text{Massa Sampel} &= \text{Massa Sampel + Cawan} - \text{Massa Cawan} \\ &= 24,445 \text{ g} - 22,442 \text{ g} \end{aligned}$$

$$= 2,003 \text{ g}$$

2) Massa Abu

$$\text{Massa Cawan} = 22,442 \text{ g}$$

$$\text{Massa Abu + Cawan} = 22,893 \text{ g}$$

$$\text{Massa Abu} = \text{Massa Abu + Cawan} - \text{Massa Cawan}$$

$$= 22,893 \text{ g} - 22,442 \text{ g}$$

$$= 0,451 \text{ g}$$

3) Kadar Abu

$$\text{Kadar Abu} = \frac{\text{Massa Abu}}{\text{Massa Sampel}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,451 \text{ g}}{2,003 \text{ g}} \times 100\%$$

$$= 22,502 \%$$

$$= 22,50 \%$$

Rekapitulasi perhitungan kadar abu dapat dilihat pada **Tabel F.2.**

Tabel F.2 Rekapitulasi Perhitungan Kadar Abu

No.	Keterangan	Satuan	10%		15%	
			Uji 1	Uji 2	Uji 1	Uji 2
1.	Cawan Kosong	g	22,442	30,784	20,785	27,777
2.	Massa Sampel + Cawan	g	24,445	32,794	22,789	29,791
3.	Massa Sampel	g	2,003	2,010	2,004	2,013
4.	Massa Abu + Cawan	g	22,893	31,238	21,237	28,229
5.	Massa Abu	g	0,451	0,454	0,452	0,451
6.	Kadar Abu	%	22,50	22,58	22,55	22,42
7.	Rata-rata	%	22,54±0,040		22,49±0,065	

3. Kadar Zat Terbang

Berikut contoh perhitungan kadar zat terbang.

1) Massa Awal Sampel (W1)

$$\text{Massa Cawan} = 22,171 \text{ g}$$

$$\text{W1 + Cawan} = 23,177 \text{ g}$$

$$\text{W1} = \text{W1 + Cawan} - \text{Massa Cawan}$$

$$= 23,177 \text{ g} - 22,171 \text{ g}$$

$$= 1,006 \text{ g}$$

2) Massa Akhir Sampel (W2)

$$\text{Massa Cawan} = 22,171 \text{ g}$$

$$\text{W2 + Cawan} = 22,573 \text{ g}$$

$$\text{W2} = \text{W2 + Cawan} - \text{Massa Cawan}$$

$$= 22,573 \text{ g} - 22,171 \text{ g}$$

$$= 0,402 \text{ g}$$

3) Kadar Zat Terbang

$$\begin{aligned} \text{Kadar Zat Terbang} &= \frac{W1 - W2}{W1} \times 100\% \\ &= \frac{1,006 \text{ g} - 0,402 \text{ g}}{1,006 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 60,026 \text{ \%} \\ &= 60,03 \text{ \%} \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan kadar zat terbang dapat dilihat pada **Tabel F.3**.

Tabel F.3 Rekapitulasi Perhitungan Kadar Zat Terbang

No.	Keterangan	Satuan	10%		15%	
			Uji 1	Uji 2	Uji 1	Uji 2
1.	Cawan Kosong	g	22,171	24,043	24,013	41,400
2.	W1 + Cawan	g	23,177	25,048	25,015	42,402
3.	W2 + Cawan	g	1,006	1,004	1,001	1,002
4.	W1	g	22,573	24,443	24,439	41,820
5.	W2	g	0,402	0,400	0,426	0,421
6.	Kadar Zat Terbang	%	60,03	60,15	57,50	58,02
7.	Rata-rata	%	60,09±0,060		57,76±0,260	

4. Kadar Karbon Terikat

Berikut contoh perhitungan kadar karbon terikat.

$$\begin{aligned} \text{Kadar Karbon Terikat Perekat} &= 100 \text{ \%} - (\text{Kadar Air} + \text{Kadar Abu} + \text{Kadar Zat Terbang}) \\ &= 100\% - (4,01\% + 22,54\% + 60,09\%) \\ &= 13,37 \text{ \%} \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan kadar karbon terikat dapat dilihat pada **Tabel F.4**.

Tabel F.4 Rekapitulasi Perhitungan Kadar Karbon Terikat

No.	Keterangan	Satuan	10%		15%	
			Uji 1	Uji 2	Uji 1	Uji 2
1.	Kadar Air	%	4,10	4,01	3,49	3,56
2.	Kadar Abu	%	22,50	22,58	22,55	22,42
3.	Kadar Zat Terbang	%	60,03	60,15	57,5	58,02
4.	Kadar Karbon Terikat	%	13,37	13,26	16,46	16,00
5.	Rata-rata	%	13,32±0,055		16,23±0,230	

5. Kerapatan

Berikut contoh perhitungan kerapatan.

$$\begin{aligned} 1) \text{ Massa 1 Briket} &= 15,00 \text{ g} \\ \\ 2) \text{ Volume 1 Briket} & \\ \text{Diameter Briket} &= 2,65 \text{ cm} \\ \text{Tinggi Briket} &= 4,90 \text{ cm} \\ \text{Volume 1 Briket} &= \frac{1}{4} \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} (3,14) \times 2,65^2 \times 4,90 \end{aligned}$$

$$\text{Volume 1 Briket} = 27,01 \text{ cm}^3$$

3) Kerapatan

$$\begin{aligned} \text{Kerapatan} &= \frac{\text{Massa contoh uji (g)}}{\text{Volume contoh uji (cm}^3\text{)}} \\ &= \frac{15,00 \text{ g}}{27,01 \text{ cm}^3} \\ &= 0,56 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan kerapatan dapat dilihat pada **Tabel F.5**

Tabel F.5 Rekapitulasi Perhitungan Kerapatan

No.	Keterangan	Satuan	10%		15%	
			Uji 1	Uji 2	Uji 1	Uji 2
1.	Massa 1 Briket	g	15,00	14,00	14,00	14,00
2.	Diameter Briket	cm	2,65	2,60	2,60	2,60
3.	Tinggi Briket	cm	4,90	4,70	4,80	4,90
4.	Volume 1 Briket	cm ³	27,01	24,94	25,47	26,02
5.	Kerapatan	g/cm ³	0,56	0,56	0,55	0,54
6.	Rata-rata	g/cm³		0,56±0	0,55±0,005	

6. Nilai Kalor

Berikut contoh perhitungan nilai kalor.

$$\begin{aligned} 1) \text{ Massa Sampel} &= 1,020 \text{ g} \\ \text{Temperatur } (\Delta t) &= 1,620 \text{ }^\circ\text{C} \\ I_1 &= 4,700 \text{ mL} \\ I_2 &= 13,70 \times 1,02 \times \text{massa contoh} \\ &= 13,70 \times 1,02 \times 1,020 \text{ g} \\ &= 14,255 \text{ g} \\ I_3 &= 2,30 \times \text{kawat besi terbakar} \\ &= 2,30 \times (10 \text{ cm} - 4,40 \text{ cm}) \\ &= 11,960 \text{ cm} \\ W &= 2,436 \text{ kal/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

2) Nilai Kalor

$$\begin{aligned} \text{Nilai Kalor} &= \frac{\Delta t W - I_1 - I_2 - I_3}{M_{bb}} \\ &= \frac{(1,620 \times 2,436 \text{ kal/}^\circ\text{C}) - 4,700 \text{ mL} - 14,255 \text{ g} - 11,960}{1,020 \text{ g}} \\ &= 3,837,354 \text{ kal/g} \\ &= 3,837,35 \text{ kal/g} \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan nilai kalor dapat dilihat pada **Tabel F.6**.

Tabel F.6 Rekapitulasi Perhitungan Nilai Kalor

No.	Keterangan	Satuan	10%		15%	
			Uji 1	Uji 2	Uji 1	Uji 2
1.	Massa Sampel	g	1,020	1,033	1,001	1,005
2.	Δt	$^{\circ}\text{C}$	1,620	1,640	1,630	1,640
3.	I_1	mL	4,700	4,800	5,200	5,500
4.	I_2	g	14,255	14,431	13,988	14,044
5.	I_3	cm	12,880	11,960	17,940	18,400
6.	Nilai Kalor	kal/g	3.837,35	3.838,34	3.929,62	3.937,41
7.	Rata-rata	%	3.837,85\pm0,495		3.933,52\pm3,895	





LAMPIRAN G

**(Temperatur, Tekanan, dan *Flowrate*
Saat Sampling)**

Lampiran G. Temperatur, Tekanan, dan *Flowrate* Saat Sampling

1. Data Temperatur, Tekanan, dan *Flowrate* Saat Sampling

A. Fase *Background*

Data temperatur, tekanan, dan *flowrate* saat sampling fase *background* tiap uji dapat dilihat pada Tabel G.1, Tabel G.2, dan Tabel G.3.

Tabel G.1 Data Temperatur, Tekanan, dan *Flowrate* Sampling *Background* Uji 1

Menit ke-	Waktu	Temperatur (°C)	Temperatur (°K)	Tekanan (mmHg)	<i>Flowrate</i> (L/menit)	<i>Flowrate</i> (m ³ /detik)
1	12.44	28,2	301,2	733,4	3,5	0,0035
2	12.45	28,2	301,2	733,4	3,5	0,0035
3	12.46	28,1	301,1	733,4	3,5	0,0035
4	12.47	28,1	301,1	733,4	3,5	0,0035
5	12.48	28,1	301,1	733,4	3,5	0,0035
6	12.49	28,1	301,1	733,4	3,5	0,0035
7	12.50	28,1	301,1	733,4	3,5	0,0035
8	12.51	28,1	301,1	733,4	3,5	0,0035
9	12.52	28,1	301,1	733,4	3,5	0,0035
10	12.53	28,0	301,0	733,4	3,5	0,0035
11	12.54	28,0	301,0	733,4	3,5	0,0035
12	12.55	28,0	301,0	733,4	3,5	0,0035
13	12.56	28,0	301,0	733,4	3,5	0,0035
14	12.57	28,0	301,0	733,4	3,5	0,0035
15	12.58	28,0	301,0	733,4	3,5	0,0035
16	12.59	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
17	13.00	28,0	301,0	733,4	3,5	0,0035
18	13.01	28,0	301,0	733,4	3,5	0,0035
19	13.02	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
20	13.03	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
21	13.04	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
22	13.05	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
23	13.06	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
24	13.07	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
25	13.08	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
26	13.09	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
27	13.10	28,0	301,0	733,4	3,5	0,0035
28	13.11	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
29	13.12	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
30	13.13	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
31	13.14	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
32	13.15	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
33	13.16	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
34	13.17	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
35	13.18	28,0	301,0	733,4	3,5	0,0035
36	13.19	28,0	301,0	733,4	3,5	0,0035
37	13.20	28,0	301,0	733,4	3,5	0,0035
38	13.21	28,0	301,0	733,4	3,5	0,0035

Menit ke-	Waktu	Temperatur (°C)	Temperatur (°K)	Tekanan (mmHg)	Flowrate (L/menit)	Flowrate (m ³ /detik)
39	13.22	28,1	301,1	733,4	3,5	0,0035
40	13.23	28,1	301,1	733,4	3,5	0,0035
41	13.24	28,1	301,1	733,4	3,5	0,0035
42	13.25	28,1	301,1	733,4	3,5	0,0035
43	13.26	28,2	301,2	733,4	3,5	0,0035
44	13.27	28,2	301,2	733,4	3,5	0,0035
45	13.28	28,3	301,3	733,4	3,5	0,0035
46	13.29	28,3	301,3	733,4	3,5	0,0035
47	13.30	28,3	301,3	733,4	3,5	0,0035
48	13.31	28,3	301,3	733,4	3,5	0,0035
49	13.32	28,3	301,3	733,4	3,5	0,0035
50	13.33	28,4	301,4	733,4	3,5	0,0035
51	13.34	28,4	301,4	733,4	3,5	0,0035
52	13.35	28,4	301,4	733,4	3,5	0,0035
53	13.36	28,4	301,4	733,4	3,5	0,0035
54	13.37	28,4	301,4	733,4	3,5	0,0035
55	13.38	28,4	301,4	733,4	3,5	0,0035
56	13.39	28,4	301,4	733,4	3,5	0,0035
57	13.40	28,4	301,4	733,4	3,5	0,0035
58	13.41	28,4	301,4	733,4	3,5	0,0035
59	13.42	28,4	301,4	733,4	3,5	0,0035
60	13.43	28,4	301,4	733,4	3,5	0,0035
Rata-rata		28,103	301,103	733,4	3,5	0,0035

Tabel G.2 Data Temperatur, Tekanan, dan Flowrate Sampling Background Uji 2

Menit ke-	Waktu	Temperatur (°C)	Temperatur (°K)	Tekanan (mmHg)	Flowrate (L/menit)	Flowrate (m ³ /detik)
1	12.00	27,0	300,0	733,4	3,5	0,0035
2	12.01	27,1	300,1	733,4	3,5	0,0035
3	12.02	27,1	300,1	733,4	3,5	0,0035
4	12.03	27,1	300,1	733,4	3,5	0,0035
5	12.04	27,2	300,2	733,4	3,5	0,0035
6	12.05	27,2	300,2	733,4	3,5	0,0035
7	12.06	27,2	300,2	733,4	3,5	0,0035
8	12.07	27,3	300,3	733,4	3,5	0,0035
9	12.08	27,3	300,3	733,4	3,5	0,0035
10	12.09	27,3	300,3	733,4	3,5	0,0035
11	12.10	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035
12	12.11	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035
13	12.12	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035
14	12.13	27,5	300,5	733,4	3,5	0,0035
15	12.14	27,5	300,5	733,4	3,5	0,0035
16	12.15	27,5	300,5	733,4	3,5	0,0035
17	12.16	27,5	300,5	733,4	3,5	0,0035
18	12.17	27,6	300,6	733,4	3,5	0,0035
19	12.18	27,6	300,6	733,4	3,5	0,0035
20	12.19	27,6	300,6	733,4	3,5	0,0035
21	12.20	27,6	300,6	733,4	3,5	0,0035

Menit ke-	Waktu	Temperatur (°C)	Temperatur (°K)	Tekanan (mmHg)	Flowrate (L/menit)	Flowrate (m ³ /detik)
22	12.21	27,6	300,6	733,4	3,5	0,0035
23	12.22	27,7	300,7	733,4	3,5	0,0035
24	12.23	27,7	300,7	733,4	3,5	0,0035
25	12.24	27,7	300,7	733,4	3,5	0,0035
26	12.25	27,7	300,7	733,4	3,5	0,0035
27	12.26	27,7	300,7	733,4	3,5	0,0035
28	12.27	27,8	300,8	733,4	3,5	0,0035
29	12.28	27,8	300,8	733,4	3,5	0,0035
30	12.29	27,8	300,8	733,4	3,5	0,0035
31	12.30	27,8	300,8	733,4	3,5	0,0035
32	12.31	27,8	300,8	733,4	3,5	0,0035
33	12.32	27,8	300,8	733,4	3,5	0,0035
34	12.33	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
35	12.34	27,8	300,8	733,4	3,5	0,0035
36	12.35	27,8	300,8	733,4	3,5	0,0035
37	12.36	27,8	300,8	733,4	3,5	0,0035
38	12.37	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
39	12.38	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
40	12.39	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
41	12.40	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
42	12.41	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
43	12.42	27,9	300,9	733,4	3,5	0,0035
44	12.43	28,0	301,0	733,4	3,5	0,0035
45	12.44	28,0	301,0	733,4	3,5	0,0035
46	12.45	28,0	301,0	733,4	3,5	0,0035
47	12.46	28,0	301,0	733,4	3,5	0,0035
48	12.47	28,1	301,1	733,4	3,5	0,0035
49	12.48	28,1	301,1	733,4	3,5	0,0035
50	12.49	28,1	301,1	733,4	3,5	0,0035
51	12.50	28,1	301,1	733,4	3,5	0,0035
52	12.51	28,1	301,1	733,4	3,5	0,0035
53	12.52	28,1	301,1	733,4	3,5	0,0035
54	12.53	28,1	301,1	733,4	3,5	0,0035
55	12.54	28,1	301,1	733,4	3,5	0,0035
56	12.55	28,1	301,1	733,4	3,5	0,0035
57	12.56	28,2	301,2	733,4	3,5	0,0035
58	12.57	28,2	301,2	733,4	3,5	0,0035
59	12.58	28,2	301,2	733,4	3,5	0,0035
60	12.59	28,2	301,2	733,4	3,5	0,0035
Rata-rata		27,728	300,728	733,4	3,5	0,0035

Tabel G.3 Data Temperatur, Tekanan, dan Flowrate Sampling Background Uji 3

Menit ke-	Waktu	Temperatur (°C)	Temperatur (°K)	Tekanan (mmHg)	Flowrate (L/menit)	Flowrate (m ³ /detik)
1	10.43	26,2	299,2	733,4	3,5	0,0035
2	10.44	26,2	299,2	733,4	3,5	0,0035
3	10.45	26,3	299,3	733,4	3,5	0,0035
4	10.46	26,3	299,3	733,4	3,5	0,0035

Menit ke-	Waktu	Temperatur (°C)	Temperatur (°K)	Tekanan (mmHg)	Flowrate (L/menit)	Flowrate (m ³ /detik)
5	10.47	26,4	299,4	733,4	3,5	0,0035
6	10.48	26,5	299,5	733,4	3,5	0,0035
7	10.49	26,5	299,5	733,4	3,5	0,0035
8	10.50	26,5	299,5	733,4	3,5	0,0035
9	10.51	26,5	299,5	733,4	3,5	0,0035
10	10.52	26,6	299,6	733,4	3,5	0,0035
11	10.53	26,6	299,6	733,4	3,5	0,0035
12	10.54	26,6	299,6	733,4	3,5	0,0035
13	10.55	26,7	299,7	733,4	3,5	0,0035
14	10.56	26,7	299,7	733,4	3,5	0,0035
15	10.57	26,7	299,7	733,4	3,5	0,0035
16	10.58	26,7	299,7	733,4	3,5	0,0035
17	10.59	26,8	299,8	733,4	3,5	0,0035
18	11.00	26,8	299,8	733,4	3,5	0,0035
19	11.01	26,9	299,9	733,4	3,5	0,0035
20	11.02	26,9	299,9	733,4	3,5	0,0035
21	11.03	26,9	299,9	733,4	3,5	0,0035
22	11.04	26,9	299,9	733,4	3,5	0,0035
23	11.05	26,9	299,9	733,4	3,5	0,0035
24	11.06	27,0	300,0	733,4	3,5	0,0035
25	11.07	27,0	300,0	733,4	3,5	0,0035
26	11.08	27,0	300,0	733,4	3,5	0,0035
27	11.09	27,0	300,0	733,4	3,5	0,0035
28	11.10	27,0	300,0	733,4	3,5	0,0035
29	11.11	27,0	300,0	733,4	3,5	0,0035
30	11.12	27,0	300,0	733,4	3,5	0,0035
31	11.13	27,1	300,1	733,4	3,5	0,0035
32	11.14	27,0	300,0	733,4	3,5	0,0035
33	11.15	27,1	300,1	733,4	3,5	0,0035
34	11.16	27,1	300,1	733,4	3,5	0,0035
35	11.17	27,2	300,2	733,4	3,5	0,0035
36	11.18	27,2	300,2	733,4	3,5	0,0035
37	11.19	27,3	300,3	733,4	3,5	0,0035
38	11.20	27,3	300,3	733,4	3,5	0,0035
39	11.21	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035
40	11.22	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035
41	11.23	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035
42	11.24	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035
43	11.25	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035
44	11.26	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035
45	11.27	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035
46	11.28	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035
47	11.29	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035
48	11.30	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035
49	11.31	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035
50	11.32	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035
51	11.33	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035

Menit ke-	Waktu	Temperatur (°C)	Temperatur (°K)	Tekanan (mmHg)	Flowrate (L/menit)	Flowrate (m ³ /detik)
52	11.34	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035
53	11.35	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035
54	11.36	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035
55	11.37	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035
56	11.38	27,3	300,3	733,4	3,5	0,0035
57	11.39	27,3	300,3	733,4	3,5	0,0035
58	11.40	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035
59	11.41	27,3	300,3	733,4	3,5	0,0035
60	11.42	27,4	300,4	733,4	3,5	0,0035
Rata-rata		27,015	300,015	733,4	3,5	0,0035

B. Fase *Cold Start*

Data temperatur, tekanan, dan *flowrate* saat sampling fase *cold start* tiap uji dapat dilihat pada Tabel G.4, Tabel G.5, dan Tabel G.6.

Tabel G.4 Data Temperatur, Tekanan, dan *Flowrate* Sampling *Cold Start* Uji 1

Menit ke-	Waktu	Temperatur (°C)	Temperatur (°K)	Tekanan (mmHg)	Flowrate (L/menit)	Flowrate (m ³ /detik)
1	14.37	29,1	302,1	733,5	3,5	0,0035
2	14.38	29,1	302,1	733,5	3,5	0,0035
3	14.39	29,1	302,1	733,5	3,5	0,0035
4	14.40	29,1	302,1	733,5	3,5	0,0035
5	14.41	29,1	302,1	733,5	3,5	0,0035
6	14.42	29,1	302,1	733,5	3,5	0,0035
7	14.43	29,1	302,1	733,5	3,5	0,0035
8	14.44	29,1	302,1	733,5	3,5	0,0035
9	14.45	29,1	302,1	733,5	3,5	0,0035
10	14.46	29,1	302,1	733,5	3,5	0,0035
11	14.47	29,1	302,1	733,5	3,5	0,0035
12	14.48	29,1	302,1	733,5	3,5	0,0035
13	14.49	29,0	302,0	733,5	3,5	0,0035
14	14.50	29,0	302,0	733,5	3,5	0,0035
15	14.51	29,0	302,0	733,5	3,5	0,0035
16	14.52	29,0	302,0	733,5	3,5	0,0035
17	14.53	28,9	301,9	733,5	3,5	0,0035
18	14.54	28,8	301,8	733,5	3,5	0,0035
19	14.55	28,9	301,9	733,5	3,5	0,0035
		Api padam				
Rata-rata		29,042	302,042	733,5	3,5	0,0035

Tabel G.5 Data Temperatur, Tekanan, dan *Flowrate* Sampling *Cold Start* Uji 2

Menit ke-	Waktu	Temperatur (°C)	Temperatur (°K)	Tekanan (mmHg)	Flowrate (L/menit)	Flowrate (m ³ /detik)
1	13.23	28,2	301,2	733,8	3,5	0,0035
2	13.24	28,3	301,3	733,8	3,5	0,0035
3	13.25	28,3	301,3	733,8	3,5	0,0035
4	13.26	28,3	301,3	733,8	3,5	0,0035
5	13.27	28,4	301,4	733,8	3,5	0,0035

Menit ke-	Waktu	Temperatur (°C)	Temperatur (°K)	Tekanan (mmHg)	Flowrate (L/menit)	Flowrate (m ³ /detik)
6	13.28	28,4	301,4	733,8	3,5	0,0035
7	13.29	28,5	301,5	733,8	3,5	0,0035
8	13.30	28,5	301,5	733,8	3,5	0,0035
9	13.31	28,5	301,5	733,8	3,5	0,0035
10	13.32	28,5	301,5	733,8	3,5	0,0035
11	13.33	28,5	301,5	733,8	3,5	0,0035
12	13.34	28,6	301,6	733,8	3,5	0,0035
13	13.35	28,6	301,6	733,8	3,5	0,0035
14	13.36	28,6	301,6	733,8	3,5	0,0035
15	13.37	28,6	301,6	733,8	3,5	0,0035
16	13.38	28,6	301,6	733,8	3,5	0,0035
17	13.39	28,6	301,6	733,8	3,5	0,0035
18	13.40	28,6	301,6	733,8	3,5	0,0035
19	13.41	28,6	301,6	733,8	3,5	0,0035
20	13.42	28,6	301,6	733,8	3,5	0,0035
21	13.43	28,6	301,6	733,8	3,5	0,0035
22	13.44	28,6	301,6	733,8	3,5	0,0035
23	13.45	28,7	301,7	733,8	3,5	0,0035
24	13.46	28,7	301,7	733,8	3,5	0,0035
25	13.47	28,7	301,7	733,8	3,5	0,0035
26	13.48	28,9	301,9	733,8	3,5	0,0035
Api padam						
Rata-rata		28,538	301,538	733,8	3,5	0,0035

Tabel G.6 Data Temperatur, Tekanan, dan Flowrate Sampling Cold Start Uji 3

Menit ke-	Waktu	Temperatur (°C)	Temperatur (°K)	Tekanan (mmHg)	Flowrate (L/menit)	Flowrate (m ³ /detik)
1	12.17	27,8	300,8	734,0	3,5	0,0035
2	12.18	27,9	300,9	734,0	3,5	0,0035
3	12.19	27,9	300,9	734,0	3,5	0,0035
4	12.20	28,0	301,0	734,0	3,5	0,0035
5	12.21	28,2	301,2	734,0	3,5	0,0035
6	12.22	28,5	301,5	734,0	3,5	0,0035
7	12.23	28,8	301,8	734,0	3,5	0,0035
8	12.24	29,1	302,1	734,0	3,5	0,0035
9	12.25	29,1	302,1	734,0	3,5	0,0035
10	12.26	29,1	302,1	734,0	3,5	0,0035
11	12.27	29,0	302,0	734,0	3,5	0,0035
12	12.28	28,9	301,9	734,0	3,5	0,0035
13	12.29	28,8	301,8	734,0	3,5	0,0035
14	12.30	28,8	301,8	734,0	3,5	0,0035
15	12.31	28,6	301,6	734,0	3,5	0,0035
16	12.32	28,6	301,6	734,0	3,5	0,0035
17	12.33	28,6	301,6	734,0	3,5	0,0035
18	12.34	28,6	301,6	734,0	3,5	0,0035
19	12.35	28,6	301,6	734,0	3,5	0,0035
20	12.36	28,6	301,6	734,0	3,5	0,0035

Menit ke-	Waktu	Temperatur (°C)	Temperatur (°K)	Tekanan (mmHg)	Flowrate (L/menit)	Flowrate (m ³ /detik)
21	12.37	28,7	301,7	734,0	3,5	0,0035
22	12.38	28,7	301,7	734,0	3,5	0,0035
23	12.39	28,7	301,7	734,0	3,5	0,0035
24	12.40	28,7	301,7	734,0	3,5	0,0035
25	12.41	28,8	301,8	734,0	3,5	0,0035
26	12.42	28,7	301,7	734,0	3,5	0,0035
27	12.43	28,7	301,7	734,0	3,5	0,0035
28	12.44	28,7	301,7	734,0	3,5	0,0035
29	12.45	28,7	301,7	734,0	3,5	0,0035
30	12.46	28,7	301,7	734,0	3,5	0,0035
31	12.47	28,9	301,9	734,0	3,5	0,0035
32	12.48	29,0	302,0	734,0	3,5	0,0035
Api padam						
Rata-rata		28,641	301,641	734,0	3,5	0,0035

Rekapitulasi data temperatur, tekanan, dan *flowrate* saat sampling tiap uji dapat dilihat pada **Tabel G.7**.

Tabel G.7 Rekapitulasi Data Temperatur, Tekanan, dan Flowrate

No.	Fase Sampling	Rata-rata				
		Temperatur (°C)	Temperatur (°K)	Tekanan (mmHg)	Flowrate (L/menit)	Flowrate (m ³ /detik)
1.	Background Uji 1	28,103	301,103	733,4	3,5	0,0035
2.	Background Uji 2	27,728	300,728	733,4	3,5	0,0035
3.	Background Uji 3	27,015	300,015	733,4	3,5	0,0035
4.	Cold Start Uji 1	29,042	302,042	733,5	3,5	0,0035
5.	Cold Start Uji 2	28,538	301,538	733,8	3,5	0,0035
6.	Cold Start Uji 3	28,641	301,641	734,0	3,5	0,0035

2. Volume Sampling (V_s)

Berikut perhitungan volume sampling.

$$V_s = \frac{(Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n) \times T}{n}$$

$$V_s = \frac{\left(0,0035 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}} \times 60\right) \times 60 \text{ menit}}{60}$$

$$V_s = 0,21 \text{ m}^3$$

3. Volume Standar (V_{stp})

Berikut contoh perhitungan volume standar (fase *background* uji 1).

$$V_{stp} = V_s \times \left(\frac{P_s}{P_{stp}}\right) \times \left(\frac{T_{stp}}{T_s}\right)$$

$$V_{stp} = 0,21 \text{ m}^3 \times \left(\frac{733,4 \text{ mmHg}}{760 \text{ mmHg}}\right) \times \left(\frac{298^\circ\text{K}}{301,103^\circ\text{K}}\right)$$

$$V_{stp} = 0,2006 \text{ m}^3$$

Rekapitulasi volume standar dapat dilihat pada **Tabel G.8**.

Tabel G.8 Rekapitulasi Volume Standar (V_{stp})

No.	Fase Sampling	Volume Standar (V_{stp}) (m^3)				
		Uji 1	Uji 2	Uji 3	Rata-rata	Rata-rata \pm SE
1.	<i>Background</i>	0,2006	0,2008	0,2013	0,201	0,201 \pm 0
2.	<i>Cold Start</i>	0,2000	0,2004	0,2004	0,200	0,200 \pm 0





LAMPIRAN H

**(Uji Kualitas Udara di Dalam
Ruangan Parameter CO dan CO₂)**

Lampiran H. Uji Kualitas Udara di Dalam Ruangan Parameter CO dan CO₂

1. Data Hasil Uji

A. Fase *Background*

Data uji kualitas udara di dalam ruangan parameter CO dan CO₂ fase *background* tiap uji dapat dilihat pada **Tabel H.1**.

Tabel H.1 Data CO dan CO₂ pada Fase *Background*

Menit ke-	Uji 1		Uji 2		Uji 3	
	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)
1	0	445	0	581	0	592
2	0	439	0	525	0	559
3	0	440	0	494	0	512
4	0	449	0	485	0	483
5	0	447	0	471	0	460
6	0	446	0	463	0	440
7	0	443	0	462	0	438
8	0	439	0	459	0	441
9	0	435	0	459	0	442
10	0	436	0	454	0	441
11	0	442	0	457	0	441
12	0	443	0	464	0	439
13	0	444	0	463	0	438
14	0	446	0	449	0	438
15	0	448	0	439	0	437
16	0	447	0	440	0	437
17	0	444	0	440	0	434
18	0	445	0	439	0	425
19	0	445	0	441	0	421
20	0	445	0	437	0	420
21	0	446	0	435	0	422
22	0	446	0	432	0	427
23	0	444	0	433	0	431
24	0	442	0	433	0	433
25	0	439	0	440	0	436
26	0	441	0	444	0	438
27	0	441	0	444	0	439
28	0	445	0	442	0	439
29	0	447	0	440	0	436
30	0	445	0	439	0	436
31	0	441	0	437	0	437
32	0	438	0	436	0	437
33	0	436	0	436	0	436
34	0	435	0	434	0	430
35	0	435	0	433	0	426
36	0	436	0	433	0	425
37	0	437	0	433	0	424
38	0	438	0	431	0	422

Menit ke-	Uji 1		Uji 2		Uji 3	
	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)
39	0	437	0	432	0	423
40	0	438	0	433	0	423
41	0	437	0	434	0	427
42	0	438	0	433	0	433
43	0	437	0	433	0	440
44	0	436	0	453	0	443
45	0	434	0	459	0	444
46	0	431	0	451	0	441
47	0	431	0	441	0	441
48	0	432	0	433	0	443
49	0	433	0	432	0	444
50	0	436	0	434	0	446
51	0	437	0	440	0	445
52	0	437	0	448	0	447
53	0	439	0	448	0	447
54	0	439	0	446	0	445
55	0	438	0	445	0	443
56	0	439	0	442	0	442
57	0	439	0	440	0	441
58	0	438	0	440	0	441
59	0	438	0	439	0	440
60	0	439	0	438	0	437
Rata-rata	0	440,05	0	447,85	0	443,13

B. Fase *Cold Start*

Data uji kualitas udara di dalam ruangan parameter CO dan CO₂ fase *cold start* tiap uji dapat dilihat pada Tabel H.2.

Tabel H.2 Data CO dan CO₂ pada Fase *Cold Start*

Menit ke-	Uji 1		Uji 2		Uji 3	
	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)
1	0	525	0	499	0	434
2	0	589	0	500	3	434
3	3	595	2	514	3	449
4	3	600	1	538	3	506
5	4	599	0	533	3	528
6	6	588	6	541	4	542
7	4	579	13	579	7	980
8	7	573	8	629	10	715
9	10	578	23	640	13	665
10	11	560	23	632	13	780
11	13	551	17	610	9	642
12	11	538	17	572	11	582
13	17	528	17	534	7	571
14	14	513	14	499	7	562
15	15	512	15	520	7	530
16	11	507	14	505	23	509

Menit ke-	Uji 1		Uji 2		Uji 3	
	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)
17	9	494	17	481	23	509
18	3	486	17	469	32	527
19	3	472	7	472	32	540
20	Api Padam		8	483	29	540
21			8	487	30	547
22			7	496	27	560
23			6	499	21	550
24			6	553	23	511
25			3	552	20	516
26			3	563	16	523
27			Api Padam		10	501
28					6	479
29					7	501
30					4	496
31					3	498
32					3	510
					Api Padam	
Rata-rata	7,58	546,68	9,33	534,62	12,78	554,28

2. Konsentrasi CO dan CO₂

A. Konsentrasi CO

Berikut contoh perhitungan konsentrasi CO (Fase *cold start* uji 1).

$$\text{Konsentrasi rata-rata CO saat sampling} = 7,58 \text{ ppm}$$

$$\text{Lama pengujian} = 19 \text{ menit}$$

$$\text{Konversi Canter (P) (0,17-0,2)} = 0,185$$

$$n = \frac{19 \text{ menit pengujian}}{60 \text{ menit}}$$

$$n = 0,317$$

Konversi konsentrasi CO₂ ke 8 jam

$$\text{Konsentrasi CO 8 jam} = C_{\text{sampling}} \times \left[\frac{n}{8} \right]^P$$

$$\text{Konsentrasi CO 8 jam} = 7,58 \text{ ppm} \times \left[\frac{0,317}{8} \right]^{0,185}$$

$$\text{Konsentrasi CO 8 jam} = 4,172 \text{ ppm}$$

$$\text{Konsentrasi CO 8 jam} = 4,17 \text{ ppm}$$

Rekapitulasi konsentrasi CO dalam ruangan selama 8 jam dapat dilihat pada **Tabel H.3**.

Tabel H.3 Rekapitulasi Konsentrasi CO

No.	Fase Sampling	Konsentrasi (ppm) CO Selama 8 Jam		
		Uji 1	Uji 2	Uji 3
1.	<i>Background</i>	0,00	0,00	0,00
2.	<i>Cold Start</i>	4,17	5,44	7,45

B. Konsentrasi CO₂

Berikut contoh perhitungan Konsentrasi CO₂ (fase *cold start* uji 1).

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi rata-rata CO}_2 \text{ saat sampling} &= 546,68 \text{ ppm} \\ \text{Lama pengujian} &= 19 \text{ menit} \\ \text{Konversi Canter (P) (0,17-0,2)} &= 0,185 \\ n &= \frac{19 \text{ menit pengujian}}{60 \text{ menit}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= 0,317 \\ \text{Konversi konsentrasi CO}_2 \text{ ke 8 jam} &= C_{\text{sampling}} \times \left[\frac{n}{8} \right]^P \\ \text{Konsentrasi CO}_2 \text{ 8 jam} &= 546,68 \text{ ppm} \times \left[\frac{0,317}{8} \right]^{0,185} \\ \text{Konsentrasi CO}_2 \text{ 8 jam} &= 300,855 \text{ ppm} \\ \text{Konsentrasi CO}_2 \text{ 8 jam} &= 300,86 \text{ ppm} \end{aligned}$$

Rekapitulasi konsentrasi CO₂ dalam ruangan selama 8 jam dapat dilihat pada **Tabel H.4.**

Tabel H.4 Rekapitulasi Konsentrasi CO₂

No.	Fase Sampling	Konsentrasi (ppm) CO ₂ Selama 8 Jam		
		Uji 1	Uji 2	Uji 3
1.	<i>Background</i>	299,52	304,83	301,62
2.	<i>Cold Start</i>	300,86	311,69	335,82



LAMPIRAN I
(Uji Kualitas Udara di Dalam
Ruangan Parameter $PM_{2,5}$)

Lampiran I. Uji Kualitas Udara di Dalam Ruangan Parameter PM_{2,5}

1. Data Massa Filter *Fiber Glass*

A. Fase *Background*

Data massa filter *fiber glass* fase *background* tiap uji dapat dilihat pada **Tabel I.1**, **Tabel I.2**, dan **Tabel I.3**.

Tabel I.1 Massa Filter *Fiber Glass* Fase *Background* Uji 1

Kode Filter		B-1		
Uji		1		
Fase		<i>Background Sampling</i>		
No.	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Selisih Massa (g)	
1	0,1106	0,1106	0,000000	
2	0,1106	0,1106	0,000000	
3	0,1106	0,1106	0,000001	
4	0,1106	0,1106	0,000001	
5	0,1106	0,1106	0,000000	
Rata-rata			0,0000004	

Tabel I.2 Massa Filter *Fiber Glass* Fase *Background* Uji 2

Kode Filter		B-2		
Uji		2		
Fase		<i>Background Sampling</i>		
No.	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Selisih Massa (g)	
1	0,1099	0,1099	0,000000	
2	0,1099	0,1099	0,000001	
3	0,1099	0,1099	0,000000	
4	0,1099	0,1099	0,000001	
5	0,1099	0,1099	0,000000	
Rata-rata			0,0000004	

Tabel I.3 Massa Filter *Fiber Glass* Fase *Background* Uji 3

Kode Filter		B-3		
Uji		3		
Fase		<i>Background Sampling</i>		
No.	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Selisih Massa (g)	
1	0,1099	0,1099	0,000000	
2	0,1099	0,1099	0,000001	
3	0,1099	0,1099	0,000000	
4	0,1099	0,1099	0,000001	
5	0,1099	0,1099	0,000001	
Rata-rata			0,0000006	

B. Fase Cold Start

Data massa filter *fiber glass* fase *cold start* tiap uji dapat dilihat pada **Tabel I.4**, **Tabel I.5**, dan **Tabel I.6**.

Tabel I.4 Massa Filter *Fiber Glass* Fase Cold Start Uji 1

Kode Filter	CS-1		
Uji	1		
Fase	<i>Cold Start Sampling</i>		
No.	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Selisih Massa (g)
1	0,1107	0,1107	0,000001
2	0,1107	0,1107	0,000002
3	0,1107	0,1107	0,000001
4	0,1107	0,1107	0,000001
5	0,1107	0,1107	0,000002
Rata-rata			0,0000014

Tabel I.5 Massa Filter *Fiber Glass* Fase Cold Start Uji 2

Kode Filter	CS-2		
Uji	2		
Fase	<i>Cold Start Sampling</i>		
No.	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Selisih Massa (g)
1	0,1100	0,1100	0,000001
2	0,1100	0,1100	0,000002
3	0,1100	0,1100	0,000001
4	0,1100	0,1100	0,000002
5	0,1100	0,1100	0,000002
Rata-rata			0,0000016

Tabel I.6 Massa Filter *Fiber Glass* Fase Cold Start Uji 3

Kode Filter	CS-3		
Uji	3		
Fase	<i>Cold Start Sampling</i>		
No.	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Selisih Massa (g)
1	0,1109	0,1109	0,000002
2	0,1109	0,1109	0,000001
3	0,1109	0,1109	0,000002
4	0,1109	0,1109	0,000002
5	0,1109	0,1109	0,000002
Rata-rata			0,0000018

2. Konsentrasi PM_{2,5}

Berikut contoh perhitungan konsentrasi PM_{2,5} (fase *cold start* uji 1).

$$\begin{aligned} \text{Flowrate LVAS saat sampling} &= 0,0035 \text{ m}^3 \\ &= 3,5 \text{ L/menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Suhu udara rata-rata saat sampling} &= 29,042 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 302,042 \text{ }^\circ\text{K} \end{aligned}$$

$$\text{Tekanan udara rata-rata saat sampling} = 733,5 \text{ mmHg}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume sampling PM}_{2,5} &= 0,21 \text{ m}^3 \\ V_{\text{stp}} \text{ PM}_{2,5} &= 0,20 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Konsentrasi PM_{2,5} dalam ruangan selama 1 jam

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{(W_s - W_o) \times 10^6}{V_{\text{stp}}} \\ C_1 &= \frac{0,0000014 \text{ g} \times 10^6}{0,20 \text{ m}^3} \\ C_1 &= 7,00 \text{ } \mu\text{g/N.m}^3 \end{aligned}$$

Konsentrasi PM_{2,5} dalam ruangan selama 24 jam

$$\begin{aligned} C_{24} &= C_{\text{sampling}} \times \left[\frac{1}{24} \right]^p \\ C_{24} &= 7,00 \text{ } \mu\text{g/N.m}^3 \times \left[\frac{1}{24} \right]^{0,185} \\ C_{24} &= 3,888 \text{ } \mu\text{g/N.m}^3 \\ C_{24} &= 3,89 \text{ } \mu\text{g/N.m}^3 \end{aligned}$$

Rekapitulasi konsentrasi PM_{2,5} dalam ruangan selama 24 jam dapat dilihat pada **Tabel I.7**.

Tabel I.7 Rekapitulasi Konsentrasi PM_{2,5}

No.	Fase Sampling	Konsentrasi ($\mu\text{g/N.m}^3$) PM _{2,5} Selama 24 Jam		
		Uji 1	Uji 2	Uji 3
1.	<i>Background</i>	1,11	1,11	1,66
2.	<i>Cold Start</i>	3,89	4,44	4,99



LAMPIRAN J
(Dokumentasi Penelitian)

Lampiran J. Dokumentasi Penelitian

1. Budi Daya BSF dan *Waste Reduction Index*



Gambar J.1 MinaGot Sumbar



Gambar J.2 Penimbangan Larva BSF Sebelum Perlakuan



Gambar J.3 Penimbangan Larva BSF Setelah Penyaringan Kasgot



Gambar J.4 Penimbangan Kasgot

1. Uji Kualitas Briket Arang Campuran Bangkai dan Kerabang BSF



Gambar J.5 Karbonisasi Bahan Briket Arang



Gambar J.6 Pembuatan Perkat Kanji



Gambar J.7 Pencampuran Bahan Briket Arang dengan Perekat Kanji



Gambar J.8 Penjemuran Briket Arang



Gambar J.9 Pengujian Kualitas Briket Arang



Gambar J.10 Pengujian Nilai Kalor Briket Arang



Gambar J.11 Perletakan Kompor Biomassa dan Alat Uji Kualitas Udara di Dalam Ruangan



Gambar J.12 Proses Uji WBT

PEMANFAATAN BUDI DAYA BLACK SOLDIER FLY (BSF, *Hermetia illucens*) DALAM MEREDUKSI GAS METANA DAN PEMBUATAN BRIKET ARANG

ORIGINALITY REPORT

3%

SIMILARITY INDEX

3%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

ejournal.undip.ac.id

Internet Source

1%

2

jurnaldampak.ft.unand.ac.id

Internet Source

1%

3

repository.its.ac.id

Internet Source

1%

Exclude quotes On

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On