

Tungku Sekam IPB

Cara Pembuatan, Cara Pemakaian, Analisis Efisiensi Energi, dan Penerapannya pada Sterilisasi Media Tanam Jamur Tiram



Irzaman | Siti Hajar | Nazopatul Patonah Har | Irmansyah
Mahfuddin Zuhri | Renan Prasta Jenie | Hendradi Hardhienata



Tungku Sekam IPB

Cara Pembuatan, Cara Pemakaian, Analisis Efisiensi Energi, dan Penerapannya pada Sterilisasi Media Tanam Jamur Tiram

Tungku Sekam IPB

Cara Pembuatan, Cara Pemakaian, Analisis Efisiensi Energi, dan Penerapannya pada Sterilisasi Media Tanam Jamur Tiram

Irzaman
Siti Hajar
Nazopatul Patonah Har
Irmansyah
Mahfuddin Zuhri
Renan Prasta Jenie
Hendradi Hardhienata



Penerbit IPB Press
Jalan Taman Kencana No. 3,
Kota Bogor - Indonesia

C.01/07.2023

Judul Buku:

Tungku Sekam IPB
Cara Pembuatan, Cara Pemakaian, Analisis Efisiensi Energi, dan Penerapannya
pada Sterilisasi Media Tanam Jamur Tiram

Tim Penulis:

Irzaman
Siti Hajar
Nazopatul Patonah Har
Irmansyah
Mahfuddin Zuhri
Renan Prasta Jenie
Hendradi Hardhienata

Penyunting Bahasa:

Siti Julaela

Desain Sampul & Penata Isi:

Alfyandi

Jumlah Halaman:

68 + 14 halaman romawi

Edisi/Cetakan:

Cetakan 1, Juli 2023

Diterbitkan dan dicetak oleh:

PT Penerbit IPB Press

Anggota IKAPI

Jalan Taman Kencana No. 3, Bogor 16128

Telp. 0251 - 8355 158 E-mail: ipbpress@apps.ipb.ac.id

www.ipbpress.com

ISBN: 978-623-467-731-7

© 2023, HAK CIPTA DILINDUNGI OLEH UNDANG-UNDANG

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku
tanpa izin tertulis dari penerbit

Kata Pengantar

Segala puja, puji, dan syukur kehadiran Allah SWT sehingga Buku Tungku Sekam IPB: Cara Pembuatan, Cara Pemakaian, Analisis Efisiensi Energi, dan Penerapannya pada Sterilisasi Media Tanam Jamur Tiram ini dapat diselesaikan sesuai jadwal. Buku ajar ini terinspirasi dari pepatah melayu, “Api dalam sekam”, di mana hasil penelitian lapang diperoleh suhu bara api dalam sekam sebesar 650 °C. Buku ini membahas cara pembuatan tungku sekam, cara pemakaian, analisis efisiensi tungku sekam, simulasi distribusi suhu, dan penerapan tungku sekam pada sterilisasi media tanam jamur tiram. Buku ajar ini untuk mempelajari fenomena alam (fisika) dalam mendukung mata kuliah Termodinamika pada kurikulum S-1 semester 3 Departemen Fisika FMIPA IPB, dan diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengembangan alih teknologi mengenai energi alternatif baru dan terbarukan serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari untuk mengatasi krisis energi dan ketahanan energi nasional.

Akhirnya, kami mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu penulisan dan penerbitan buku ini. Bila dalam buku ini dijumpai kesalahan dimohon dengan sangat agar berkenan memberikan teguran, komentar, koreksi, kritik, dan saran yang membangun dari para pengguna dan pemerhati diterima dengan penuh penghargaan dan selanjutnya akan sangat berguna bagi perbaikan buku ini. Terima kasih. Semoga Allah SWT memberkahi kehidupan kita semua. *Amin Ya Robbal Alamin.*

Bogor, 8 Juli 2023/20 Dzulhijjah 1444 H

Penulis,
Irzaman
Siti Hajar
Nazopatul Patonah H
Irmansyah
Mahfuddin Zuhri
Renan Prasta Jenie
Hendradi Hardhienata

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel	ix
Daftar Gambar	xi
Bab 1 Tungku Sekam	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Sekam Padi	2
1.3 Sejarah Tungku Sekam IPB	3
1.4 Manfaat dan Kelebihan Tungku Sekam	3
Bab 2 Pembuatan Tungku Sekam	5
2.1 Pendahuluan	5
2.2 Prinsip Kerja, Mekanisme Kerja, dan Konstruksi Tungku Sekam	5
2.3 Pembuatan Pola/Desain Tungku Sekam untuk Rumah Tangga	7
2.4 Pembuatan Pola/Desain Tungku Sekam untuk Industri Kecil	12
Bab 3 Analisis Efisiensi Tungku Sekam	19
3.1 Pendahuluan	19
3.2 Pengujian Tungku Sekam	19
3.3 Perhitungan dan Analisis Efisiensi Tungku Sekam	21
3.3.1 Waktu Pembakaran (<i>Boiling Time</i>) dan FCR (<i>Fuel Consumption Rate</i>)	21
3.3.2 Daya Masuk (P_{in}), Daya Keluar (P_{out}), dan Daya yang Hilang (P_{loss})	25

3.3.3	Energi Radiasi, Konduktivitas Termal Wajan, dan Konduktivitas Termal Cerobong Tungku Sekam.	28
3.3.4	Efisiensi Tungku Sekam.	32
3.4	Analisis Statistik Data Efisiensi Tungku Sekam	35
Bab 4	Simulasi Distribusi Panas Tungku Sekam.	39
4.1	Pendahuluan	39
4.2	Pemodelan Matematis Sebaran Panas dalam Koordinat Sistem	40
4.3	Persamaan Diffusivitas dalam Sistem Koordinat Konikal	42
4.4	Solusi Eksak Kecepatan Aliran Fluida.	43
4.5	Transformasi Persamaan Analitik ke Persamaan Diskrit FDM	43
4.6	Simulasi Sebaran Panas Konduksi dalam Sistem Koordinat Konikal	44
4.7	Simulasi Sebaran Panas Konveksi dalam Sistem Koordinat Konikal	46
4.8	Simulasi Kecepatan Fluida dalam Sistem Koordinat Konikal	47
Bab 5	Penerapan Tungku Sekam.	51
5.1	Tungku Sekam untuk Proses Sterilisasi <i>Baglog</i> Jamur Tiram dan Miselium	51
5.2	Proses Sterilisasi <i>Baglog</i> Jamur Tiram dan Miselium	52
5.2.1	Desain Tungku Sekam Sederhana	52
5.2.2	Analisis Efisiensi Bahan Bakar	53
5.2.3	Karakterisasi menggunakan <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).	55
5.2.4	Sifat Fonon Optik pada Analisis Data <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR) dengan Metode Kramers-Kronig (KK)	60

Daftar Tabel

Tabel 1.1	Komposisi sekam padi	2
Tabel 3.1	Hasil uji analisis statistik	35
Tabel 5.1	Kode sampel dan keterangannya	55
Tabel 5.2	Grafik nilai indeks bias n dan k dari jamur dan miselium	61
Tabel 5.3	Fungsi dielektrik dari sampel jamur dan miselium pada masing-masing waktu inkubasi	62
Tabel 5.4	Fungsi dielektrik dari sampel jamur dan miselium pada masing-masing waktu inkubasi	64

Daftar Gambar

Gambar 2.1	Desain tungku sekam	7
Gambar 2.2	Wadah meletakkan sekam bentuk kerucut: (a) sebelum dirangkai; (b) setelah dirangkai	7
Gambar 2.3	Alas untuk arang sekam	8
Gambar 2.4	Desain dinding penyangga dari kaleng bekas/tanah liat tungku sekam (bentuk tabung)	8
Gambar 2.5	Penggabungan wadah meletakkan sekam (bentuk kerucut) dengan dinding penyangga tungku sekam (bentuk tabung)	9
Gambar 2.6	Pembuatan selongsong dalam (bentuk tabung) yang berada di dalam selongsong tanah liat dengan perantara baut	10
Gambar 2.7	Penggabungan seng dan tanah liat/kendi dengan baut	10
Gambar 2.8	Tungku sekam untuk rumah tangga	11
Gambar 2.9	Wadah meletakkan sekam bentuk kerucut: (a) sebelum dirangkai; (b) setelah dirangkai	12
Gambar 2.10	Alas untuk arang sekam	13
Gambar 2.11	Desain dinding penyangga dari kaleng bekas/tanah liat tungku sekam (bentuk tabung)	13
Gambar 2.12	Penggabungan wadah meletakkan sekam (bentuk kerucut) dengan dinding penyangga tungku sekam (bentuk tabung)	14
Gambar 2.13	Pembuatan sebuah selongsong dalam (bentuk tabung) yang berada di dalam selongsong tanah liat dengan perantara baut	14
Gambar 2.14	Penggabungan seng dan tanah liat/kendi dengan baut	15
Gambar 2.15	Tungku sekam skala industri kecil	16
Gambar 3.1	Perbandingan rata-rata FCR pada variasi massa air yang dididihkan	22
Gambar 3.2	Perbandingan rata-rata waktu pembakaran pada variasi massa air yang dididihkan	22

Gambar 3.3	Perbandingan rata-rata FCR pada variasi lubang katup aliran oksigen	24
Gambar 3.4	Perbandingan rata-rata waktu pembakaran pada variasi lubang katup aliran oksigen.	24
Gambar 3.5	Perbandingan besarnya rata-rata daya masuk (P_{in}), daya keluar (P_{out}), dan daya yang hilang (P_{loss}) berdasarkan variasi massa air	26
Gambar 3.6	Perbandingan besarnya rata-rata daya masuk (P_{in}), daya keluar (P_{out}), dan daya yang hilang (P_{loss}) pada tiap variasi lubang katup aliran oksigen.	28
Gambar 3.7	Perbandingan rata-rata energi radiasi pada tiap variasi lubang katup aliran oksigen.	30
Gambar 3.8	Perbandingan rata-rata konduktivitas termal wajan pada tiap variasi lubang katup aliran oksigen	31
Gambar 3.9	Perbandingan rata-rata konduktivitas termal cerobong pada tiap variasi lubang katup aliran oksigen	31
Gambar 3.10	Perbandingan rata-rata efisiensi tungku sekam pada tiap variasi massa air yang dipanaskan	34
Gambar 3.11	Perbandingan rata-rata efisiensi tungku sekam pada tiap variasi lubang katup aliran oksigen	34
Gambar 4.1	Kontrol volume benda dimensi tiga.	40
Gambar 4.2	Distribusi transfer panas konduksi kerucut tungku sekam (a) 45 detik dan (b) 60 detik dalam sistem koordinat konikal . .	45
Gambar 4.3	Grafik temperatur <i>vs</i> panjang selimut kerucut tungku sekam (a) 45 detik dan (b) 60 detik dalam sistem koordinat konikal . .	46
Gambar 4.4	Distribusi transfer panas konveksi (a) 45 detik dan (b) 60 detik dalam sistem koordinat konikal	47
Gambar 4.5	Grafik kecepatan fluida <i>vs</i> panjang selimut kerucut tungku . . .	48

- Gambar 5.1 Tungku sederhana terdiri atas (a) lubang pembatas api, (b) bahan isi, (c) badan tungku, (d) lubang utama 52
- Gambar 5.2 (a) Drum menggunakan selongsong; (b) Drum tanpa selongsong 53
- Gambar 5.3 Efisiensi bahan bakar sekam padi 54
- Gambar 5.4 Spektrum FTIR miselium desain drum tanpa selongsong (M TS) waktu inkubasi 35, 40, dan 45 hari 56
- Gambar 5.5 Spektrum FTIR miselium desain drum tanpa selongsong (M TS) waktu inkubasi 35, 40, dan 45 hari dengan transmitansi relatif 56
- Gambar 5.6 Spektrum FTIR jamur tiram putih desain drum tanpa selongsong (J TS) waktu inkubasi 35, 40, dan 45 hari . . . 57
- Gambar 5.7 Spektrum FTIR jamur tiram putih desain drum tanpa selongsong (J TS) waktu inkubasi 35, 40, dan 45 hari dengan transmitansi relatif 57
- Gambar 5.8 Spektrum FTIR miselium desain drum menggunakan selongsong (MS) waktu inkubasi 35, 40, dan 45 hari 58
- Gambar 5.9 Spektrum FTIR miselium desain drum menggunakan selongsong (M S) waktu inkubasi 35, 40, dan 45 hari dengan transmitansi relatif 58
- Gambar 5.10 Spektrum FTIR jamur tiram putih desain drum menggunakan selongsong (J S) waktu inkubasi 35, 40, dan 45 hari 59
- Gambar 5.11 Spektrum FTIR jamur tiram putih desain drum menggunakan selongsong (J S) waktu inkubasi 35, 40, dan 45 hari dengan transmitansi relatif 59

Bab 1

Tungku Sekam

1.1 Pendahuluan

Perkembangan industri di Indonesia terus berkembang sangat pesat seiring kemajuan teknologi. Bagaimanapun juga keberlangsungan teknologi dan industri tidak dapat dipisahkan dengan kebutuhan akan sumber energi, di mana saat ini pasokan energi masih didominasi oleh energi dari gas dan minyak bumi. Akan tetapi gas dan minyak bumi merupakan salah satu energi yang bersifat *non-renewable* sehingga konsumsinya yang terus meningkat dari tahun ke tahun menyebabkan adanya ketidakseimbangan antara kebutuhan energi dengan ketersediaan sumber energi tersebut. Kelangkaan dan kenaikan harga minyak bumi terus terjadi karena sifatnya yang *non-renewable*, di mana kebutuhan dan ketergantungan energi di Indonesia yang sangat tinggi diakibatkan karena populasi penduduk, jumlah pabrik, perkantoran, dan industri yang sangat besar (Pujotomo 2017). Hal tersebut mendorong diadakannya sumber energi alternatif maupun sumber energi komplementer. Dengan beraneka ragamnya sumber energi, diharapkan dapat meminimalisir penggunaan energi yang sifatnya *non-renewable*, dan dapat lebih memanfaatkan sumber energi yang keberadaannya masih melimpah di alam.

Sebagai salah satu negara agrrikultural, tentunya akan sangat potensial untuk dapat mengembangkan sumber energi limbah pertanian sebagai energi alternatif maupun komplementer menggantikan gas dan minyak bumi yang persediaannya semakin terbatas. Terlebih posisi Indonesia yang merupakan daerah tropika yang memungkinkan memiliki limbah pertanian yang cukup melimpah. Salah satu alternatif sumber energi terbarukan yang dapat dikembangkan adalah Tungku Sekam. Kelebihan tungku sekam sebagai pengganti bahan bakar yang ada saat ini dikarenakan *Pertama*, energi yang dihasilkan tidak kalah panas dengan minyak tanah atau kayu bakar, *Kedua*, tersedianya sekam padi yang melimpah dan murah, sehingga lebih ekonomis, *Ketiga* bernilai ekologi; sisa pembakaran bisa untuk pupuk dan dapat mengurangi limbah padi di kawasan terbuka (penggilingan padi).

1.2 Sekam Padi

Sekam padi merupakan lapisan keras yang membungkus kariopsis butir gabah, yang terdiri atas dua belahan yang disebut *lemma* dan *palea* yang saling bertautan. Pada **Tabel 1.1** di bawah ini dapat dilihat komposisi kimiawi sekam padi.

Tabel 1.1 Komposisi sekam padi

No	Komponen	Kandungan (%)
1	Kadar air	9.02
2	Protein Kasar	3.03
3	Lemak	1.18
4	Serat Kasar (selulosa)	35.68
5	Abu	17.71
6	Karbohidrat Kasar	33.71
7	Karbon (zat arang)	1.33
8	Hidrogen	1.54
9	Oksigen	33.64
10	Silika (SiO ₂)	16.98

Sumber: Suharno (1979) dan DTC IPB

Tingginya kadar selulosa yang dimiliki sekam padi, menjadikan bahan ini menjadi salah satu bahan bakar alternatif yang banyak digunakan pada proses pembakaran, karena dapat memberikan pembakaran yang merata dan stabil.

Selain dijadikan bahan dasar pembuatan tungku sekam, dari hasil penelitian menunjukkan bahwa sekam padi terbukti baik dan layak sebagai bahan bakar pengasapan ikan yang menghasilkan ikan asap dapat bertahan dalam beberapa minggu dengan Kadar air 24–31%. Sekam padi dapat juga digunakan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), dengan 6 kg sekam akan setara dengan satu liter solar, sehingga dengan mengoptimalkan potensi sekam di Indonesia, maka dapat dihasilkan 2.1 juta kiloliter solar atau senilai Rp3.5 triliun per tahunnya.

Melihat banyaknya manfaat yang dihasilkan dari penggunaan sekam terutama sebagai sumber energi, maka sekam dapat dijadikan sumber energi alternatif yang memiliki nilai tambah yang cukup signifikan, baik dari aspek ekonomi, sosial, maupun lingkungan.

1.3 Sejarah Tungku Sekam IPB

Tungku sekam merupakan rangka bakar yang berbahan bakar sekam padi. Berdasarkan macam-macam bentuk tungku sekam, Staf Fisika dari Departemen Geofisika dan Meteorologi FMIPA IPB pernah memelopori pembuatan tungku sekam di bawah bimbingan Soedarsono, M.Sc pada tahun 1980-an (pada saat itu Fisika IPB masih termasuk di dalam Departemen Geofisika dan Meteorologi FMIPA IPB), tetapi karena ketika itu harga bahan bakar minyak masih relatif murah dan masih terjangkau oleh masyarakat menengah ke bawah, maka tidak dikembangkan lebih lanjut. Pada tahun 1990, instalasi penelitian Karawang mulai mengembangkan kompor sekam yang diberi nama Kompor Sekam Segar Karawang (KOMSEKAR). Pada tahun 2007–2008, harga minyak tanah semakin mahal sehingga kebanyakan masyarakat kecil kesulitan untuk membelinya, kembali Staf Departemen Fisika FMIPA IPB yang dipelopori oleh Dr. Ir. Irzaman M.Si *et al.*, mengembangkan kembali tungku sekam berdasarkan yang pernah dipelopori oleh Soedarsono, M.Sc pada tahun 1980-an. Dasar yang digunakan tidak berbeda dengan yang pernah dikembangkan oleh Soedarsono, M.Sc, tetapi lubang-lubang udara dan beberapa bagian lainnya dikembangkan murni oleh Irzaman *et al.* agar di samping bentuknya lebih menarik, harganya lebih murah, penggunaannya lebih praktis, dan dapat menghasilkan efisiensi tungku yang lebih besar (Darmasetiawan *et al.* 2010). Tungku sekam skala industri kecil yang dikembangkan Irzaman dan Ahmad Yani ini telah memperoleh paten dengan nomor paten IDP000078571 pada tanggal 19 Agustus 2021 oleh Kementerian Hukum dan HAM Republik Indonesia.

1.4 Manfaat dan Kelebihan Tungku Sekam

Manfaat yang didapatkan dari penggunaan tungku sekam adalah sebagai berikut:

- a. Menghasilkan energi panas yang cukup untuk kegiatan memasak (untuk skala RT, warung, dan industri kecil). Panas yang dihasilkan tidak kalah panasnya dengan energi yang dihasilkan minyak tanah atau gas.
- b. Harga bahan (sekam) yang murah dapat menekan biaya (lebih ekonomis) sehingga sangat membantu bagi keluarga ekonomi lemah.
- c. Menghasilkan arang/abu sekam yang dapat digunakan untuk pupuk tanaman, abu gosok, dan lain-lain (multiguna).
- d. Mengurangi dampak lingkungan dari limbah sekam padi di penggilingan.

Tungku Sekam IPB

Cara Pembuatan, Cara Pemakaian, Analisis Efisiensi Energi, dan Penerapannya pada Sterilisasi Media Tanam Jamur Tiram

Kelebihan Tungku Sekam dibanding Sumber Energi Lain sebagai berikut:

- a. Energi yang dihasilkan tungku sekam lebih efisien dan menghasilkan CO₂ yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan penggunaan kayu bakar. Energi yang dihasilkan mencapai 3300 kkal.
- b. Harga atau biaya yang digunakan lebih ekonomis.
- c. Limbah buangan berupa abu/arang memiliki banyak fungsi, antara lain dapat digunakan sebagai pupuk bunga, abu gosok, pupuk tanaman pertanian, dan lain-lain.
- d. Sekam dapat dibuat briket arang.

Bab 2

Pembuatan Tungku Sekam

2.1 Pendahuluan

Secara umum, tungku sekam memiliki dua komponen geometri yaitu geometri silinder dan geometri kerucut. Geometri silinder digunakan sebagai geometri sumber panas, sedangkan geometri kerucut sebagai tandon panas (Irzaman *et al.* 2009). Geometri silinder tungku sekam merupakan rangka bakar berbentuk silinder. Geometri silinder tungku sekam juga merupakan bagian penting rangka karena tandon panas pertama yang disampaikan terhadap bagian lainnya berasal dari geometri silinder ini. Geometri kerucut tungku sekam termasuk bagian penting tungku karena menyampaikan panas yang baik sebagai tandon panas. Oleh karena itu, pada kerucut tungku sekam terjadi transfer panas dan sebaran panas.

2.2 Prinsip Kerja, Mekanisme Kerja, dan Konstruksi Tungku Sekam

Tungku sekam terdiri atas 6 (enam) bagian, yaitu reservoir sekam dalam bentuk kerucut terbalik (A), silinder untuk saluran api sekam (B), isolator tungku (kendi) (C), badan tungku (D), ventilator (E), dan reservoir abu sekam (F). Bagian utama tungku sekam adalah reservoir sekam dalam bentuk kerucut terbalik (F) yang di dalamnya terdapat silinder untuk membakar sekam (B) dan isolator tungku (C). Secara lengkap, prinsip kerja, mekanisme kerja, dan konstruksi tungku sekam dijelaskan sebagai berikut.

Dari segi fisik, tungku sekam ini hampir mirip seperti kompor minyak tanah lainnya, tapi terlihat agak besar. Tidak ada lubang di sisi kiri maupun kanannya, hanya sebuah lubang untuk memasok oksigen pada bagian badan bawah (tungku). Di dalam tungku, ada sebuah plat seng berbentuk kerucut yang diletakkan terbalik dan bagian kerucutnya berlubang. Di tengah-tengah kerucut, ada semacam kendi sebagai isolator yang bagian atas dan bawahnya berlubang. Di dalam kendi tersebut dipasang semacam pipa dari seng, yang sisi-sisinya diberi

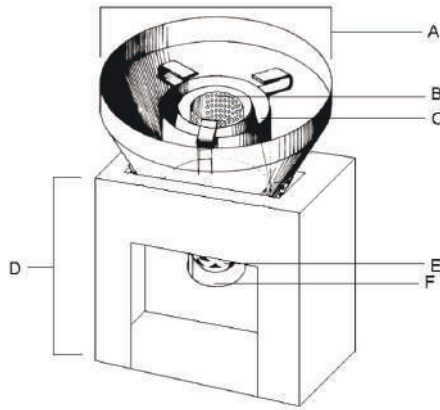
lubang kecil-kecil seukuran diameter paku besar. Prinsip kerja tungku ini, sekam dimasukkan dari atas ke kerucut terbalik tersebut. Kemudian api dimasukkan pada lubang tungku dari bawah, dengan mengatur oksigen dari lubang tungku itu.

Sekam padi dari reservoir sekam dalam bentuk kerucut terbalik (A) turun melewati lubang pemasukkan dan langsung tertahan oleh reservoir abu sekam (F). Proses perapian menggunakan metode pengaturan oksigen terhadap bara sekam, yaitu sepanjang bagian bawah kerucut terbalik. Dengan pengaturan jarak renggang yang sebaik-baiknya dan suplai oksigen antara reservoir sekam dalam bentuk kerucut terbalik (A) dengan reservoir abu sekam (F) maka sekam padi yang kering tersebut akan menghasilkan bara sekam dan perapian dengan baik melalui silinder untuk saluran api sekam (B) dan isolator tungku (kendi) (C). Abu sekam hasil pembakaran akan turun ke bawah (reservoir abu sekam), lalu dikeluarkan ke lubang ventilator (E) pada badan tungku (D).

Kapasitas energi api sekam yang optimum tercapai apabila sekam yang kering sebanyak mungkin dapat menghasilkan api. Kapasitas energi api yang dihasilkan tergantung dari kecepatan terbakarnya serta energi dalam sekam yang tersedia untuk proses perapian.

Gambar 2.1 menunjukkan desain tungku sekam skala industri kecil dengan bagian-bagian mencakup:

- Reservoir sekam dalam bentuk kerucut terbalik (A) berfungsi sebagai tempat penampungan sekam padi yang dilengkapi dengan lubang pemasukan untuk mengatur suplai oksigen yang akan masuk ke silinder untuk membakar sekam (B) dan isolator tungku (kendi) (C).
- Silinder untuk saluran api sekam (B) berfungsi sebagai aliran energi panas dari panas sekam.
- Isolator tungku (kendi) (C), berfungsi untuk meneruskan energi api dari Reservoir sekam dalam bentuk kerucut terbalik.
- Badan tungku (D), berfungsi sebagai penopang tungku sekam.
- Ventilator (E), berfungsi sebagai pengaturan suplai oksigen agar api dalam sekam terus timbul sepanjang bara sekam masih ada.
- Reservoir abu sekam (F), berfungsi sebagai penahan laju bara sekam dan tempat penampungan abu sekam. Abu sekam sepatutnya dikeluarkan agar laju bara dan api sekam dalam kerucut terbalik (A) terus terpelihara.

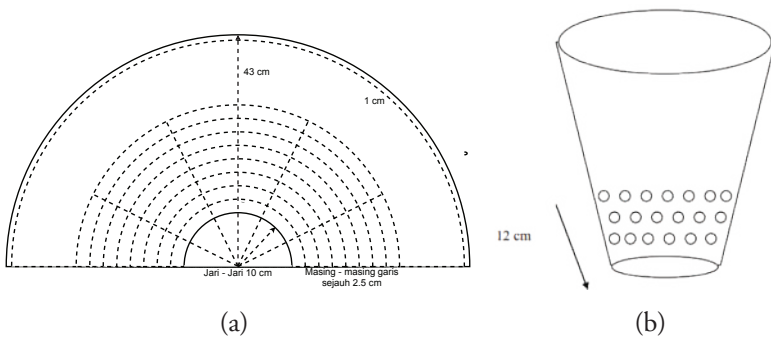


Gambar 2.1 Desain tungku sekam

2.3 Pembuatan Pola/Desain Tungku Sekam untuk Rumah Tangga

a. Wadah Meletakkan Sekam

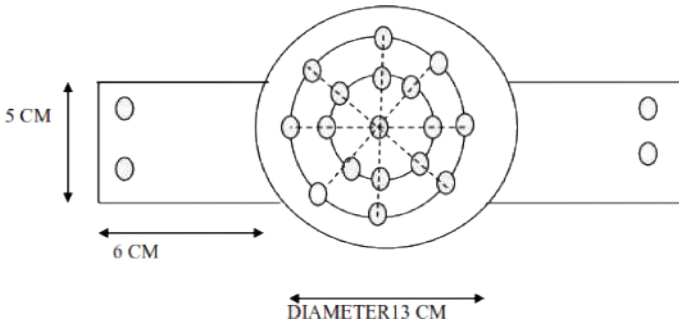
Wadah meletakkan sekam terbuat dari bahan seng yang berbentuk pola kerucut terbalik. Pada **Gambar 2.2** menunjukkan pola kerucut sebelum dan setelah dirangkai. Pada wadah meletakkan sekam yang telah terbentuk, dibuat lubang-lubang berdiameter 1.5 cm mengikuti pola kerucut setinggi 12 cm, seperti pada **Gambar 2.2(b)**.



Gambar 2.2 Wadah meletakkan sekam bentuk kerucut: (a) sebelum dirangkai; (b) setelah dirangkai

b. Pembuatan Alas untuk Arang Sekam

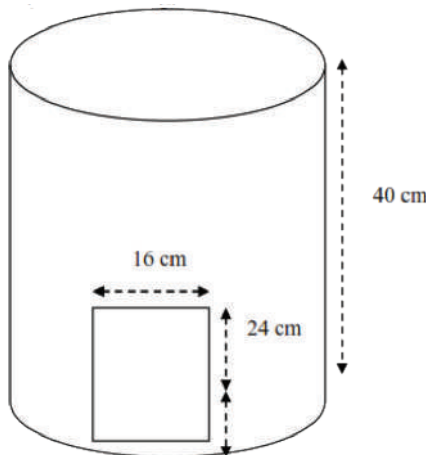
Alas untuk arang sekam terbuat dari bahan seng yang dibentuk seperti pola pada **Gambar 2.3**. Pada bagian yang berbentuk lingkaran dibuat 17 lubang dengan mengikuti pola lingkaran dengan garis sumbu x dan sumbu y dengan 8 penjuru mata angin sejauh jari-jari 2 cm (lingkaran dalam) dan 4 cm (lingkaran luar).



Gambar 2.3 Alas untuk arang sekam

c. Pembuatan Dinding Penyangga dari Kaleng Bekas/Tanah Liat Tungku Sekam (Bentuk Tabung)

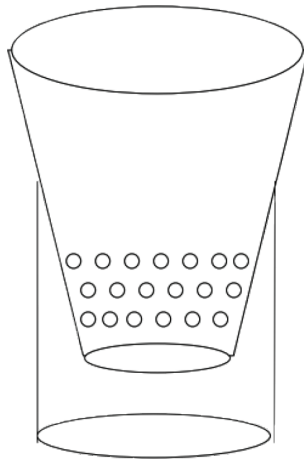
Pembuatan desain dinding penyangga dari kaleng bekas/tanah liat tungku sekam (Bentuk Tabung) dengan ukuran seperti yang ditunjukkan dalam **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Desain dinding penyangga dari kaleng bekas/tanah liat tungku sekam (bentuk tabung)

- d. Penggabungan Wadah Meletakkan Sekam (Bentuk Kerucut) dengan Pembuatan Dinding Penyangga Tungku Sekam (Bentuk Tabung)

Penggabungan wadah untuk meletakkan sekam berbentuk kerucut (**Gambar 2.3**) ditunjukkan pada **Gambar 2.5** dengan dinding penyangga tungku sekam berbentuk tabung seperti pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.5 Penggabungan wadah meletakkan sekam (bentuk kerucut) dengan dinding penyangga tungku sekam (bentuk tabung)

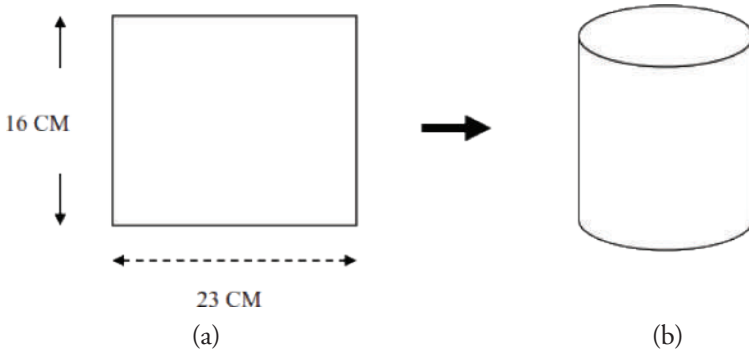
- e. Pembuatan Sebuah Selongsong dalam (Bentuk Tabung) yang Berada di dalam Selongsong Tanah Liat dengan Perantara Baut

Langkah pembuatan sebuah selongsong dalam yaitu sebagai berikut:

- Siapkan seng berukuran 16×23 cm seperti **Gambar 2.6 (a)**.
- Buatlah lubang sekujur dinding selongsong dengan 17 garis menurun (vertikal) dari atas ke bawah setiap 1 cm dan 8 garis mendatar (horizontal) dari kiri ke kanan setiap 1.5 cm (tiap pertemuan garis berupa titik dibuat lubang sebanyak 17 lubang horizontal dan 8 lubang vertikal).
- Seng berukuran 16×23 cm kemudian digulung seperti **Gambar 2.6 (b)**.

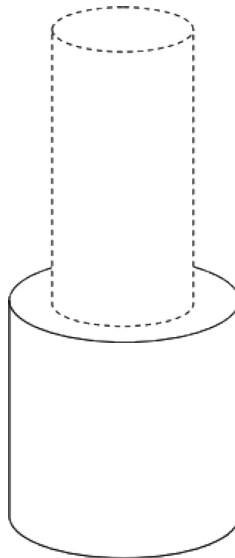
Tungku Sekam IPB

Cara Pembuatan, Cara Pemakaian, Analisis Efisiensi Energi, dan Penerapannya pada Sterilisasi Media Tanam Jamur Tiram



Gambar 2.6 Pembuatan selongsong dalam (bentuk tabung) yang berada di dalam selongsong tanah liat dengan perantara baut

- f. Penggabungan Selongsong seng dan Tanah Liat/Kendi dengan Baut
Penggabungan seng-seng seperti **Gambar 2.6 (b)** dengan tanah liat/kendi dengan baut sebanyak empat buah ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7 Penggabungan seng dan tanah liat/kendi dengan baut

- g. Pembuatan Dudukan dari besi behel untuk Selongsong seng dan Tanah Liat/kendi dengan baut
Hasil selongsong seng dan tanah liat/kendi dengan baut seperti **Gambar 2.7** dibuatkan dudukan dari besi behel. Dudukan dari besi behel berukuran seperti di bawah ini:

- Panjang besi behel 66 cm lalu dibuat sebuah lingkaran lalu di las ujung-ujungnya.
 - buatlah 4 penyanggah dari besi behel setinggi 15 cm lalu di las ke sebuah lingkaran yang telah dibuat sebelumnya.
 - buatlah 3 buah dudukan dari pelat besi sepanjang 8 cm lalu ditebuk menyerupai huruf "C" dan di las pada sebuah lingkaran yang telah di las sebelumnya.
 - buatlah 3 buah pelat kaki berukuran 6,5 cm dan di las pada sebuah lingkaran yang telah di las sebelumnya lalu di "ripet" ke dinding tungku sekam.
- h. Hasil desain tungku sekam untuk rumah tangga
Bentuk desain akhir dari tungku sekam untuk rumah tangga ditunjukkan pada **Gambar 2.8**.

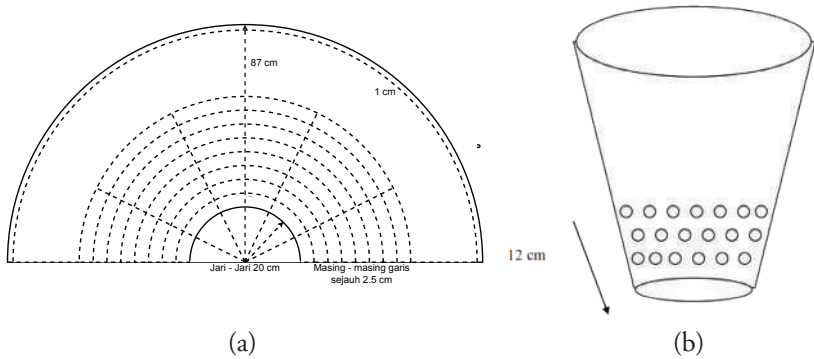


Gambar 2.8 Tungku sekam untuk rumah tangga

2.4 Pembuatan Pola/Desain Tungku Sekam untuk Industri Kecil

a. Wadah Meletakkan Sekam Bentuk Kerucut

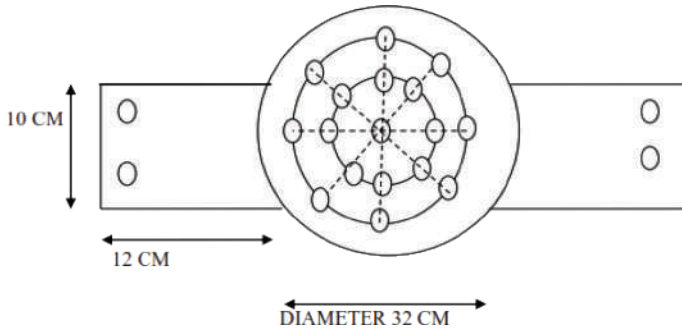
Wadah meletakkan sekam terbuat dari bahan seng yang berbentuk pola kerucut terbalik. Pada **Gambar 2.9** menunjukkan pola kerucut sebelum dan setelah dirangkai. Pada wadah meletakkan sekam yang telah terbentuk, dibuat lubang-lubang berdiameter 1.5 cm mengikuti pola kerucut setinggi 12 cm seperti pada **Gambar 2.9(b)**.



Gambar 2.9 Wadah meletakkan sekam bentuk kerucut: (a) sebelum dirangkai; (b) setelah dirangkai

b. Pembuatan Alas untuk Arang Sekam

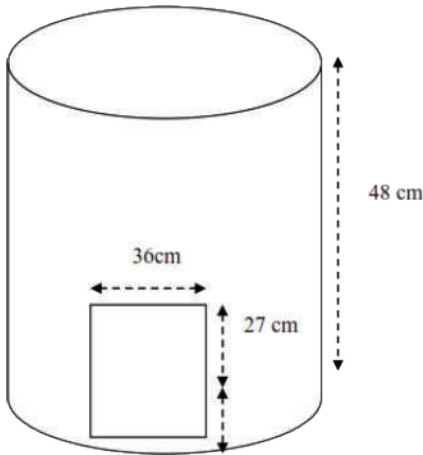
Alas untuk arang sekam terbuat dari bahan seng yang dibentuk seperti pola pada **Gambar 2.10**. Pada bagian yang berbentuk lingkaran dibuat 17 lubang dengan mengikuti pola lingkaran dengan garis sumbu x dan sumbu y dengan 8 penjuror mata angin sejauh jari-jari 2 cm (lingkaran dalam) dan 4 cm (lingkaran luar).



Gambar 2.10 Alas untuk arang sekam

- c. Pembuatan Dinding Penyangga dari Drum Bekas (1 Drum Dibagi Dua Bagian) Tungku Sekam (Bentuk Tabung)

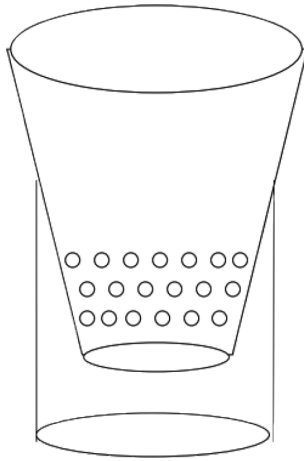
Pembuatan desain dinding penyangga dari kaleng bekas/tanah liat tungku sekam (bentuk tabung) dengan ukuran seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2.11 Desain dinding penyangga dari kaleng bekas/tanah liat tungku sekam (bentuk tabung)

- d. Penggabungan Wadah Meletakkan Sekam (Bentuk Kerucut) dengan Pembuatan Dinding Penyangga Tungku Sekam (Bentuk Tabung)

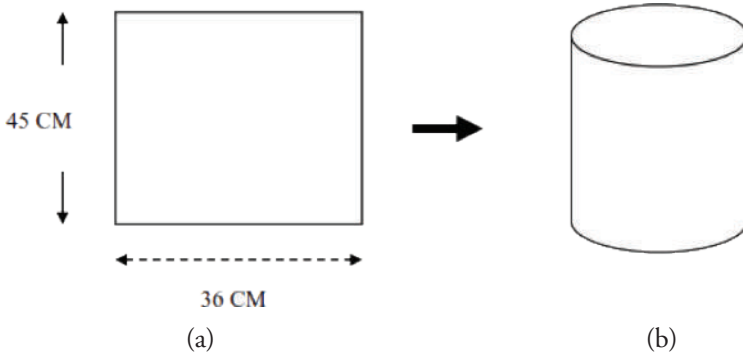
Bentuk penggabungan wadah meletakkan sekam (bentuk kerucut) dengan dinding penyangga tungku sekam (bentuk tabung) ditunjukkan pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2.12 Penggabungan wadah meletakkan sekam (bentuk kerucut) dengan dinding penyanggah tungku sekam (bentuk tabung)

- e. Pembuatan Sebuah Selongsong Falam (Bentuk Tabung) yang Berada di dalam Selongsong Tanah Liat dengan Perantara Baut

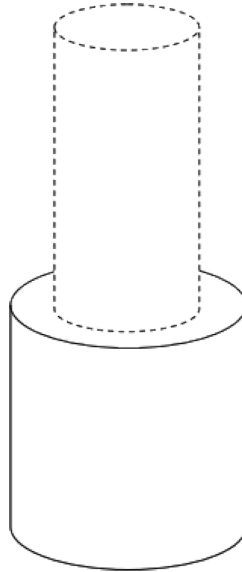
Siapkan seng berukuran 45×36 cm seperti **Gambar 2.13 (a)**, lalu buatlah lubang sekujur dinding selongsong dengan 17 garis menurun (vertikal) dari atas ke bawah setiap 2 cm dan 8 garis mendatar (horizontal) dari kiri ke kanan setiap 4 cm (tiap pertemuan garis berupa titik dibuat lubang sebanyak 17 lubang vertikal dan 8 lubang horizontal). Seng berukuran 45×36 cm kemudian digulung seperti **Gambar 2.13(b)**.



Gambar 2.13 Pembuatan sebuah selongsong dalam (bentuk tabung) yang berada di dalam selongsong tanah liat dengan perantara baut

- f. Penggabungan Seng dan Tanah Liat/Kendi dengan Baut

Penggabungan seng seperti **Gambar 2.13 (b)** dengan tanah liat/kendi dengan baut sebanyak empat buah ditunjukkan oleh **Gambar 2.14**.



Gambar 2.14 Penggabungan seng dan tanah liat/kendi dengan baut

- g. Pembuatan Dudukan Selongsong Tanah Liat dari Behel (Sudah Disiapkan)
Hasil selongsong seng dan tanah liat/kendi dengan baut seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.14** dibuatkan dudukan dari besi behel. Detail ukuran dudukan dari besi behel sebagai berikut:
- Panjang besi behel 103 cm, dibuat lingkaran yang setiap ujungnya dilas.
 - Buatlah 4 penyanggah dari besi behel setinggi 36 cm, lalu dilas ke sebuah lingkaran yang telah dibuat sebelumnya.
 - Buatlah dudukan panci dari pelat besi sepanjang 10 cm, lalu ditebuk menyerupai huruf "C".
 - Buatlah pelat kaki untuk di "ripet" ke dinding tungku sepanjang 11 cm, dengan catatan diameter pelat kaki sepanjang 33 cm.
- h. Hasil desain tungku sekam skala industri kecil
Bentuk desain akhir dari tungku sekam skala industri kecil ditunjukkan pada **Gambar 2.15**.

Tungku Sekam IPB

Cara Pembuatan, Cara Pemakaian, Analisis Efisiensi Energi, dan Penerapannya pada Sterilisasi Media Tanam Jamur Tiram



Gambar 2.15 Tungku sekam skala industri kecil

Daftar Pustaka

- Abdullah K. 2008. *ASEAN COST: New Energy Forum for Sustainable Environment* (NEFSE). Kyoto, Japan, 26–27 Mei.
- Belonio AT. 2005. *Rice Husk Gas Stove Handbook*. Appropriate Technology Center. Department of Agricultural Engineering and Environmental Management. College of Agriculture Central Philippine University Iloilo City, Philippines.
- Irzaman, Alatas H, Darmasetiawan H, Yani A, Musiran. 2007. *Tungku Sekam Padi sebagai Energi Alternatif dalam Meningkatkan Kesejahteraan Masyarakat (Kajian Ekonomi dan Finansial Tungku Sekam Padi: Skala Rumah Tangga)*. Laporan Kegiatan Pengembangan IPTEK. Institut Pertanian Bogor.
- Jekayinfa SO, Omisakin OS. 2005. The energy potentials of some agricultural wastes as local fuel materials in nigeria. *Agricultural Engineering International: the CIGRE Journal*. 7. Manuscript EE 05 003. Mei 2005.

- Jenkins BM, Baxter LL, Miles Jr TR, Miles TR. 1998. Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology*. 54: 17–46.
- Mansaray KG, Ghaly AE. 1999. Determination of kinetic parameters of rice husks in oxygen using thermogravimetric analysis. *Biomass and Bioenergy*. 17, 19–31.
- Rahmat, Ridwan. 2006. Giliran sekam untuk bahan bakar alternatif. *Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. 28(2).
- Supriyanto A. 2001. *Aplikasi Wastewater Sludge Untuk Proses Pengomposan Serbuk Gergaji*. Bioteknologi untuk Indonesia Abad 21.

Bab 3

Analisis Efisiensi Tungku Sekam

3.1 Pendahuluan

Kinerja tungku sekam diukur dengan melihat nilai efisiensinya yang merupakan perbandingan antara energi yang dibutuhkan untuk pembakaran dengan energi panas yang terkandung dalam bahan bakar sekam padi. Nilai efisiensi tungku sekam sangat dipengaruhi oleh banyak sedikitnya udara yang masuk dan terperangkap dalam tungku sekam. Hal ini dikarenakan tungku sekam membutuhkan aliran udara yang maksimum untuk melakukan pembakaran.

Pengujian efisiensi tungku sekam dilakukan menggunakan metode *Water Boiling Test* (WBT) yaitu pengujian yang digunakan untuk mengetahui kinerja suatu tungku dalam skala laboratorium, di mana kondisi iklim, bahan bakar (kelembapan, spesies, bentuk), jenis alat masak, pemasak, dan termasuk cara mengoperasikan tungkunya dipertahankan sama di sepanjang pengujian (Mulyanto *et al.* 2016). Analisis efisiensi tungku sekam yang telah dilakukan yaitu dengan memberikan perlakuan variasi lubang katup aliran oksigen.

3.2 Pengujian Tungku Sekam

Proses pengujian tungku sekam menggunakan alat *infrared thermometer*, wajan, tutup wajan, gelas ukur, *stopwatch*, korek api, timbangan/neraca, dan tungku sekam. Pengujian tungku sekam dilakukan dengan memberikan empat variasi ukuran lubang katup aliran oksigen yaitu lubang katup aliran oksigen horizontal: $18 \times 36 \text{ cm}^2$ dan $27 \times 36 \text{ cm}^2$, dan tungku sekam dengan lubang katup aliran oksigen vertikal: $27 \times 12 \text{ cm}^2$ dan $27 \times 24 \text{ cm}^2$, dan tiga variasi massa air yaitu 6 kg, 12 kg, dan 18 kg. Berikut adalah tahapan yang dilakukan dalam pengujian tungku sekam:

1. Siapkan sekam padi kering yang akan digunakan sebagai bahan bakar tungku.
2. Siapkan alat yang digunakan dalam pengujian, antara lain *infrared thermometer*, wajan, tutup wajan, gelas ukur, *stopwatch*, korek api, timbangan/neraca, dan tungku sekam.

Tungku Sekam IPB

Cara Pembuatan, Cara Pemakaian, Analisis Efisiensi Energi, dan Penerapannya pada Sterilisasi Media Tanam Jamur Tiram

3. Siapkan air sebesar variasi massa air yang akan diuji.
4. Timbang massa sekam padi awal.
5. Atur lubang katup pada tungku sekam sesuai variasi lubang katup yang akan diuji.
6. Masukkan Sekam padi yang telah ditimbang massanya ke dalam bagian kerucut terbalik pada tungku sekam.
7. Nyalakan api, proses penyalan api dilakukan dengan memasukkan api pada bagian cerobong tungku sekam, dapat juga dilakukan dengan membakar sedikit kertas kemudian memasukkannya ke dalam bagian cerobong tungku sekam.
8. Saat api di bagian cerobong tungku sekam sudah menyala, perlahan api akan membakar sekam padi, sekam padi yang telah menjadi arang/abu kemudian akan jatuh ke bagian bawah kerucut terbalik.
9. Saat sekam padi pada bagian bawah kerucut terbalik sudah terbakar merata (terlihat bara api), maka dapat dikatakan api sudah cukup stabil dan siap digunakan untuk pemanasan air.
10. Proses pemanasan air dilakukan dengan menggunakan wajan yang berukuran sangat besar, kemudian tutup dan hitung lamanya waktu pembakaran dengan *timer stopwatch*.
11. Selama proses pemanasan air, ukurlah suhu pada beberapa bagian tungku sekam menggunakan *infrared thermometer*.
12. Apabila sekam padi pada bagian kerucut terbalik sudah semakin habis terbakar dan jatuh ke bagian bawah, tambahkan dengan sekam padi lagi dan pastikan sekam padi pada bagian kerucut terbalik tetap terisi (jangan ada bagian yang kosong) karena akan menyebabkan api pada tungku sekam perlahan padam.
13. Apabila air yang dipanaskan sudah mendidih, maka proses pengujian selesai, dan dilanjutkan dengan pengambilan data untuk variasi lubang katup selanjutnya.

3.3 Perhitungan dan Analisis Efisiensi Tungku Sekam

Efisiensi tungku sekam ditentukan dengan menganalisis beberapa parameter uji antara lain:

3.3.1 Waktu Pembakaran (*Boiling Time*) dan FCR (*Fuel Consumption Rate*)

Waktu pembakaran (*Boiling time*) diukur untuk menentukan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan air yang dihitung mulai awal meletakkan wajan hingga air mendidih pada suhu 100 °C. Sementara itu, FCR (*Fuel Consumption Rate*) ditentukan untuk mengetahui laju konsumsi bahan bakar sekam padi. FCR sendiri merupakan perbandingan antara jumlah konsumsi bahan bakar yang digunakan dalam satu kali pembakaran dengan waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan bahan bakar tersebut (Mulyanto *et al.* 2016). Laju konsumsi bahan bakar (FCR) dihitung dengan persamaan dari Barlin dan Nainggolan (2012):

$$FCR = \frac{m_t}{t} \tag{3.1}$$

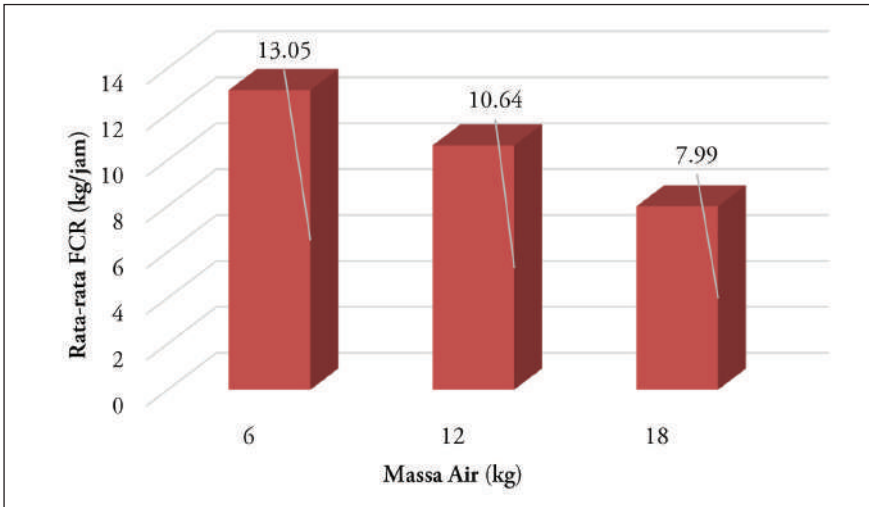
$$m_t = m_0 - m_1 \tag{3.2}$$

Dengan FCR adalah *Fuel Consumption Rate* (kg/jam), m_t adalah massa sekam padi yang terpakai dalam pembakaran (kg), m_0 adalah massa sekam padi awal (kg), m_1 adalah massa sekam padi akhir (kg), dan t adalah waktu pembakaran (jam).

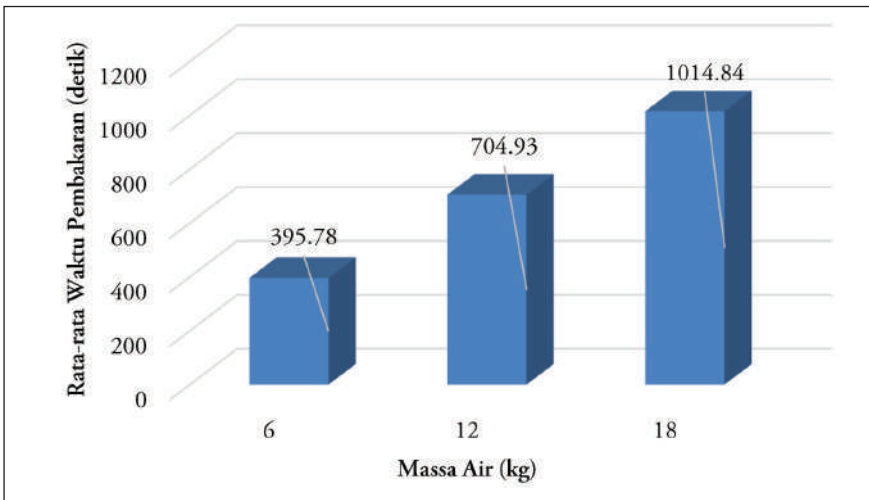
Perbandingan FCR dan Waktu Pembakaran Dilihat dari Perbedaan Variasi Massa Air yang Dipanaskan

Pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa lamanya waktu pembakaran berbanding lurus dengan banyaknya massa air yang dipanaskan. Semakin banyak massa air yang dipanaskan, waktu yang dibutuhkan dalam proses pembakaran semakin lama. Dari **Gambar 3.1** dan **Gambar 3.2** dapat dibandingkan hasil rata-rata waktu pembakaran dan hasil rata-rata FCR yang menunjukkan bahwa semakin besar laju konsumsi bahan bakar (FCR) maka waktu pembakaran semakin cepat. Hal tersebut dikarenakan semakin banyak aliran udara yang melewati bahan bakar sekam padi maka semakin cepat pula bahan bakar tersebut habis dan waktu pembakaran semakin cepat. Selain itu, tungku sekam merupakan

tungku yang sangat tergantung pada aliran udara (Maulana 2009), aliran udara yang besar akan menyebabkan nyala api yang besar dan waktu pembakaran yang lebih singkat, tetapi juga menyebabkan konsumsi bahan bakar (FCR) semakin banyak. Selain itu, hal tersebut juga sudah sesuai dengan persamaan oleh Barlin dan Nainggolan (2012) yang menyatakan bahwa nilai FCR berbanding terbalik dengan waktu pembakaran.



Gambar 3.1 Perbandingan rata-rata FCR pada variasi massa air yang dididihkan

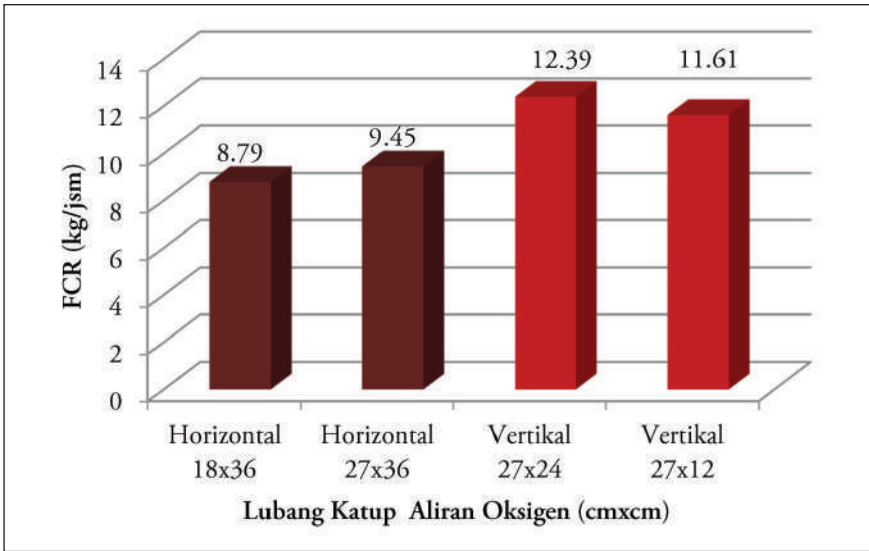


Gambar 3.2 Perbandingan rata-rata waktu pembakaran pada variasi massa air yang dididihkan

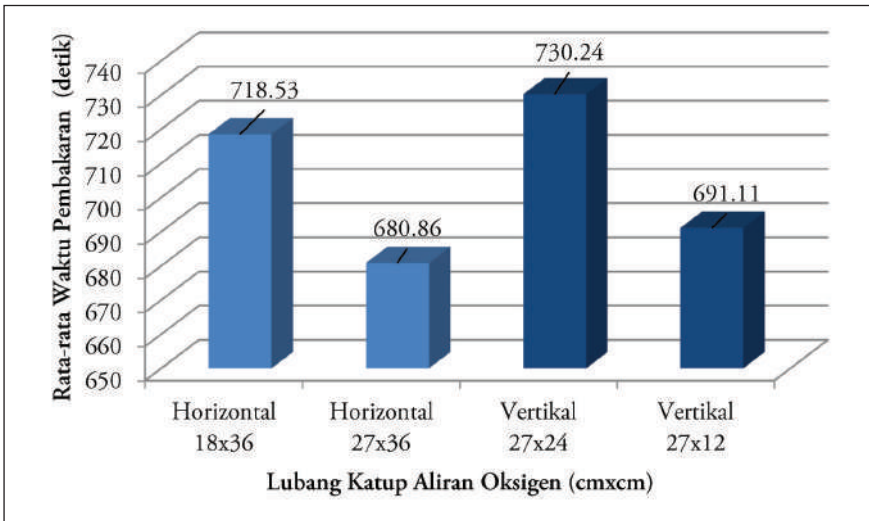
Perbandingan FCR dan Waktu Pembakaran berdasarkan Variasi Lubang Katup Aliran Oksigen

Variasi lubang katup aliran oksigen pada tungku sekam berpengaruh terhadap aliran udara yang dapat masuk dan dapat kontak dengan bahan bakar sekam padi (Ale *et al.* 2009). Hasil pengujian menunjukkan semakin besar ukuran lubang katup, aliran udara yang dapat masuk ke dalam ruang bakar semakin besar, sehingga laju konsumsi bahan bakar (FCR) semakin tinggi seperti dapat dilihat pada **Gambar 3.3**. Selain itu, hasil pengujian juga menunjukkan bahwa laju konsumsi bahan bakar (FCR) pada lubang katup horizontal cenderung lebih tinggi dibandingkan nilai rata-rata FCR pada lubang katup vertikal. Hal tersebut dikarenakan lubang katup horizontal menciptakan volume ruang bakar yang lebih luas, selain itu lubang katup aliran oksigen horizontal juga memungkinkan lebih banyak aliran udara yang dapat masuk dari sisi-sisi tungku sekam.

Adapun hasil rata-rata waktu pembakaran pada tiap variasi lubang katup aliran oksigen, berhubungan dengan laju konsumsi bahan bakar (FCR), semakin besar laju konsumsi bahan bakar (FCR) maka waktu pembakaran semakin cepat. Hal tersebut dikarenakan semakin banyak aliran udara yang melewati bahan bakar sekam padi, maka semakin cepat pula bahan bakar tersebut habis dan waktu pembakaran semakin cepat. Selain itu, waktu pembakaran juga dipengaruhi oleh laju pembakaran yaitu laju energi yang digunakan dalam proses pembakaran (Mulyanto *et al.* 2016). Apabila aliran udara yang masuk dan terperangkap dalam tungku sekam besar, maka laju pembakaran semakin besar. Semakin besar laju pembakaran maka proses pembakaran akan lebih cepat dan kinerja tungku sekam (efisiensi tungku sekam) semakin tinggi. Dari **Gambar 3.4** dapat dilihat bahwa pembakaran paling cepat pada lubang katup horizontal $27 \times 36 \text{ cm}^2$ dengan rata-rata waktu pembakaran 680.86 detik, dan paling lama pada ukuran lubang katup vertikal $27 \times 24 \text{ cm}^2$ dengan rata-rata waktu pembakaran 730.24 detik.



Gambar 3.3 Perbandingan rata-rata FCR pada variasi lubang katup aliran oksigen



Gambar 3.4 Perbandingan rata-rata waktu pembakaran pada variasi lubang katup aliran oksigen

3.3.2 Daya Masuk (P_{in}), Daya Keluar (P_{out}), dan Daya yang Hilang (P_{loss})

Pada proses pembakaran dengan tungku sekam, belum semua energi panas (kalor) yang dihasilkan dari bahan bakar sekam padi digunakan dalam proses pembakaran, dikarenakan masih ada energi yang terbuang ke lingkungan yang berpengaruh terhadap nilai efisiensi tungku sekam. Konsep efisiensi pada penelitian ini adalah nilai energi yang diserap air dalam proses pemanasan dibagi dengan nilai energi yang dihasilkan bahan bakar, sehingga energi selain energi yang diserap oleh air dalam proses pemanasan air diasumsikan sebagai energi yang hilang (Widodo 2015).

Oleh karena itu, dilakukan perhitungan daya masuk (P_{in}), daya keluar (P_{out}), dan daya yang hilang (P_{loss}). Daya masuk (P_{in}) ditentukan untuk mengetahui laju energi panas yang berasal dari bahan bakar yang akan digunakan untuk proses pembakaran. Daya keluar (P_{out}) ditentukan untuk mengetahui laju energi yang digunakan untuk proses pemanasan air. Sementara P_{loss} ditentukan untuk mengetahui besarnya daya yang hilang pada proses pembakaran (Mulyanto *et al.* 2016).

Daya masuk (P_{in}) merupakan energi panas yang terkandung di dalam bahan bakar sekam padi dibagi dengan waktu pembakaran. dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_{in} = \frac{m_i \times HVF}{t} \quad (3.3)$$

Dengan P_{in} adalah daya yang dihasilkan bahan bakar(kkal/jam), adalah massa sekam padi yang terpakai dalam pembakaran (kg), HVF (*Heat Value Fuel*) adalah nilai kalor bahan bakar (kkal/kg), dan t adalah waktu pembakaran (jam).

Daya keluar (P_{out}) adalah perbandingan antara energi yang digunakan untuk memanaskan air dengan lama waktu yang dibutuhkan hingga air mendidih. Dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Belonio 1985):

$$P_{out} = \frac{m_f c \Delta T}{t} \quad (3.4)$$

Dengan m_f adalah massa fluida (massa air) yang digunakan (kg), c adalah kalor jenis air (kkal/kg °C), dan ΔT adalah perubahan temperatur air (°C).

Tungku Sekam IPB

Cara Pembuatan, Cara Pemakaian, Analisis Efisiensi Energi, dan Penerapannya pada Sterilisasi Media Tanam Jamur Tiram

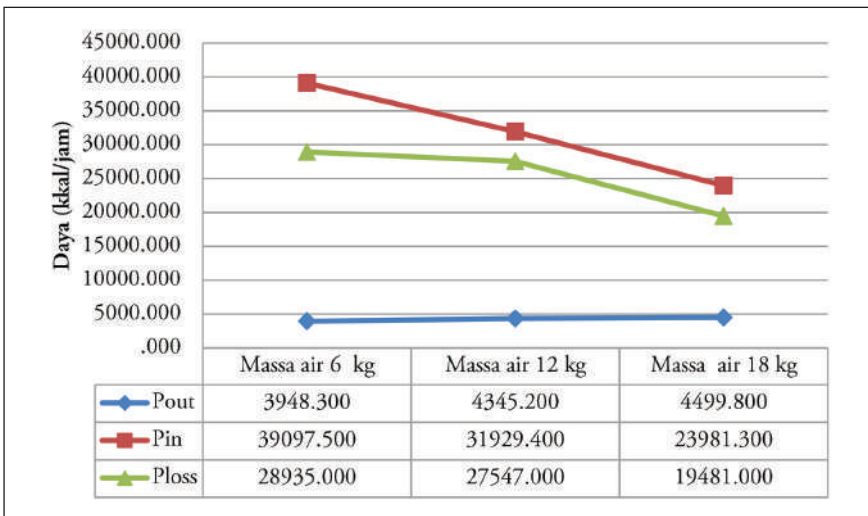
Daya yang hilang (P_{loss}) adalah kehilangan daya selama proses pembakaran dengan tungku sekam, dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_{loss} = P_{in} - P_{out} \quad (3.5)$$

Dengan P_{loss} adalah kehilangan daya pada tungku sekam (kkal/jam), P_{in} adalah daya yang dihasilkan bahan bakar(kkal/jam), dan P_{out} adalah daya yang digunakan dalam proses pembakaran (kkal/jam).

Perbandingan Besarnya Daya Masuk (P_{in}), Daya Keluar (P_{out}), dan Daya yang Hilang (P_{loss}) Dilihat dari Perbedaan Variasi Massa Air

Hasil pengujian dapat dilihat pada **Gambar 3.5** menunjukkan bahwa semakin banyak massa air yang dipanaskan, besarnya daya masuk, daya keluar, dan daya yang hilang semakin rendah. Dikarenakan semakin banyak massa air yang dipanaskan, waktu pembakaran semakin lama, semakin lama waktu pembakaran maka daya yang dihasilkan bahan bakar sekam padi (P_{in}) akan semakin berkurang karena sekam padi semakin habis terbakar, sehingga daya keluar (P_{out}) dan daya yang hilang (P_{loss}) juga semakin kecil.



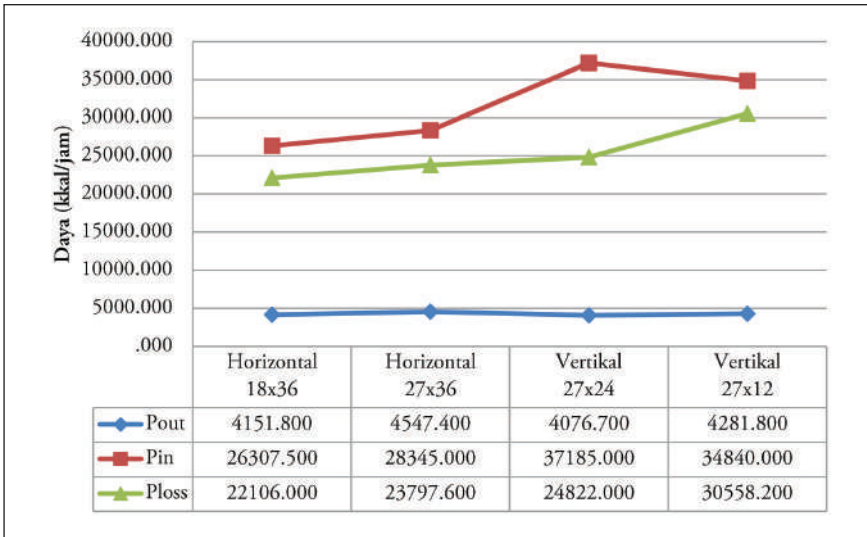
Gambar 3.5 Perbandingan besarnya rata-rata daya masuk (P_{in}), daya keluar (P_{out}), dan daya yang hilang (P_{loss}) berdasarkan variasi massa air

Perbandingan Besarnya Daya Masuk (P_{in}), Daya Keluar (P_{out}), dan Daya yang Hilang (P_{loss}) berdasarkan Variasi Lubang Katup Aliran Oksigen

Besarnya daya masuk bergantung pada banyak sedikitnya bahan bakar yang digunakan dalam proses pembakaran (Mulyanto *et al.* 2016), semakin banyak bahan bakar yang terbakar maka semakin banyak daya yang dilepaskan oleh bahan bakar sekam padi. Semakin besar ukuran lubang katup, semakin besar aliran udara yang masuk dan berkontak dengan bahan bakar, sehingga daya masuk (P_{in}) semakin besar. Hal tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3.6**, hasil rata-rata daya masuk pada tungku sekam dengan lubang katup horizontal $27 \times 36 \text{ cm}^2$ dengan rata-rata daya masuk sebesar 28345.0 kkal/jam, lebih besar dibandingkan tungku sekam dengan lubang katup horizontal dengan ukuran lubang katup yang lebih kecil yaitu $18 \times 36 \text{ cm}^2$ dengan daya masuk sebesar 26307.5 kkal/jam. Begitupun pada tungku sekam dengan lubang katup vertikal.

Daya keluar (P_{out}) pada pembakaran dengan tungku sekam menunjukkan kemampuan tungku untuk menghasilkan energi yang akan digunakan untuk memanaskan air (Mulyanto *et al.* 2016). Besarnya daya keluar berhubungan langsung dengan nilai efisiensi tungku sekam, semakin besar daya keluar atau daya yang digunakan untuk memanaskan air maka efisiensi tungku sekam semakin tinggi.

Adapun daya dari bahan bakar (P_{in}) yang tidak digunakan dalam pemanasan air (P_{out}) diasumsikan sebagai daya yang hilang. Daya yang hilang (P_{loss}) dapat diakibatkan oleh nyala api yang menyebar atau tidak terfokus ke wadah pemanasan air (wajan), selain itu dapat disebabkan oleh adanya laju aliran udara yang dapat mengurangi transfer panas baik secara konduksi maupun radiasi (Mulyanto *et al.* 2016).



Gambar 3.6 Perbandingan besarnya rata-rata daya masuk (P_{in}), daya keluar (P_{out}), dan daya yang hilang (P_{loss}) pada tiap variasi lubang katup aliran oksigen

3.3.3 Energi Radiasi, Konduktivitas Termal Wajan, dan Konduktivitas Termal Cerobong Tungku Sekam

Kalor atau panas adalah energi yang bergerak dari satu sistem ke sistem lainnya karena adanya perbedaan suhu antara kedua sistem. Perpindahan aliran panas dapat terjadi secara konveksi, konduksi, maupun radiasi. Unjuk kerja (efisiensi) tungku sekam sangat dipengaruhi oleh energi yang hilang dalam sistem pemanasan, energi yang hilang dapat terjadi karena adanya laju aliran udara yang dapat mengurangi transfer panas baik secara konduksi maupun radiasi. Energi yang hilang pada sistem pemanasan relatif kompleks untuk diidentifikasi satu persatu karena bentuk geometri dari setiap elemen pemanasan (tungku sekam) yang cukup kompleks (Widodo 2015). Energi hilang yang relatif mudah untuk diidentifikasi adalah energi hilang yang diakibatkan oleh panas selubung tungku sekam yang dalam penelitian ini jaraknya diukur dari bara api sekam hingga bagian wadah pemanasan air (wajan) dengan jarak m, dihitung dengan persamaan energi radiasi oleh Stefan-Boltzman (3.9):

$$H = e\sigma\Delta T^4 \quad (3.6)$$

$$\frac{Q}{t} = e\sigma\Delta T^4 \quad (3.7)$$

$$\frac{Q}{t} = e\sigma A_L (T_1^4 - T_2^4) \quad (3.8)$$

$$Q = e\sigma t A_L (T_1^4 - T_2^4) \quad (3.9)$$

Di mana H menunjukkan energi per satuan waktu (J/s atau watt), Q menunjukkan energi radiasi atau energi yang dipancarkan oleh permukaan benda (Joule), e menunjukkan emisivitas bahan, dan σ adalah konstanta Stefan-boltzmann yang bernilai $5.6703 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$. A menunjukkan luas permukaan (m^2), A_L menunjukkan luas permukaan selubung tungku sekam (m^2), ΔT menunjukkan perubahan atau selisih suhu (K) di mana T_1 menunjukkan suhu pada bagian bara sekam (K) dan T_2 menunjukkan suhu pada bagian wajan luar (K).

Konduktivitas termal merupakan ukuran kemampuan zat dalam menghantarkan kalor (Hakim 2016). Konduktivitas termal wajan dihitung dengan persamaan Hukum Fourier:

$$Q = kA \left(-\frac{dT}{dx} \right) \quad (3.10)$$

$$Q = kA_w \left(-\frac{dT}{dx} \right) \quad (3.11)$$

$$Q = -kA_w - \frac{(T_l - T_d)}{dx} \quad (3.12)$$

$$k = -\frac{Q}{A_w \frac{(T_l - T_d)}{dx}} \quad (3.13)$$

Dengan Q adalah jumlah kalor yang ditransfer (joule), k adalah konduktivitas termal wajan (W/mK), dT adalah perubahan suhu (K), dan dx adalah ketebalan wajan (m). A adalah luas permukaan (m^2), A_w menunjukkan luas permukaan wajan (m^2) dengan diameter 84 cm, tinggi 25 cm, dan ketebalan 5 mm. dT menunjukkan perubahan suhu (K) di mana T_l menunjukkan suhu pada bagian wajan luar (K) dan T_d menunjukkan suhu pada bagian wajan dalam (K).

Konduktivitas termal cerobong (bagian silinder) tungku sekam dihitung dengan persamaan Hukum Fourier:

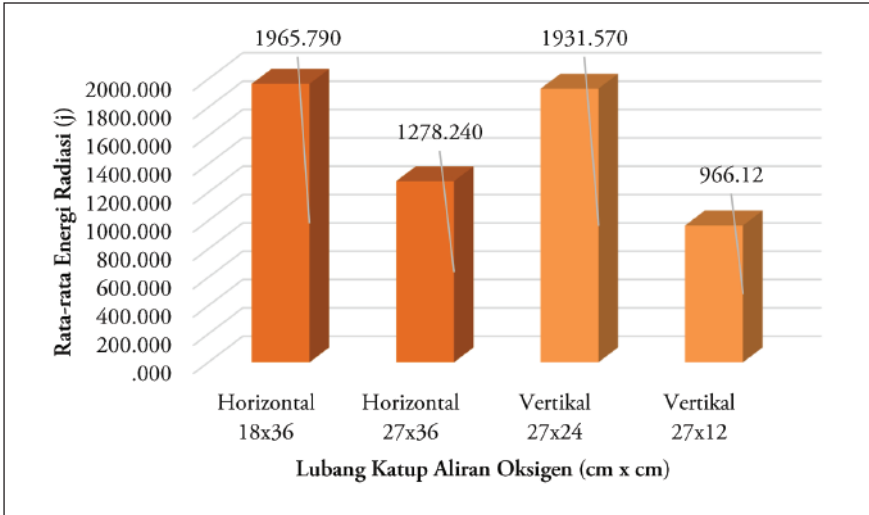
$$Q = kA \left(-\frac{dT}{dx} \right) \tag{3.14}$$

$$Q = kA_c \left(-\frac{dT}{dx} \right) \tag{3.15}$$

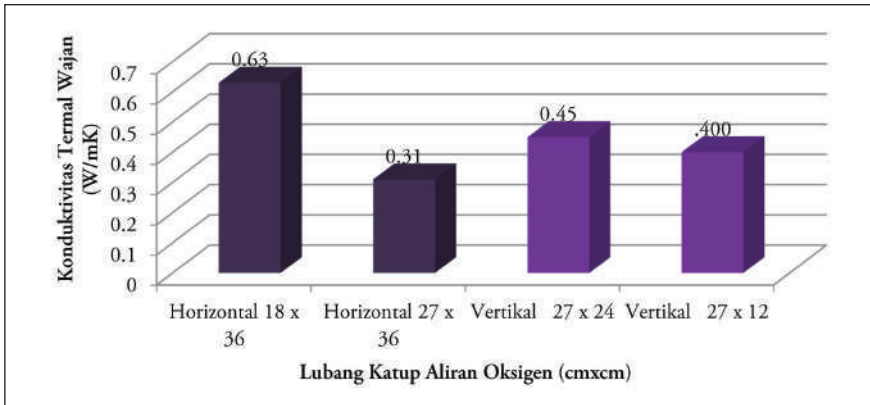
$$Q = kA_c \left(-\frac{(T_l - T_d)}{(D_l - D_d)} \right) \tag{3.16}$$

$$k = -\frac{Q}{A_c \frac{(T_l - T_d)}{(D_l - D_d)}} \tag{3.17}$$

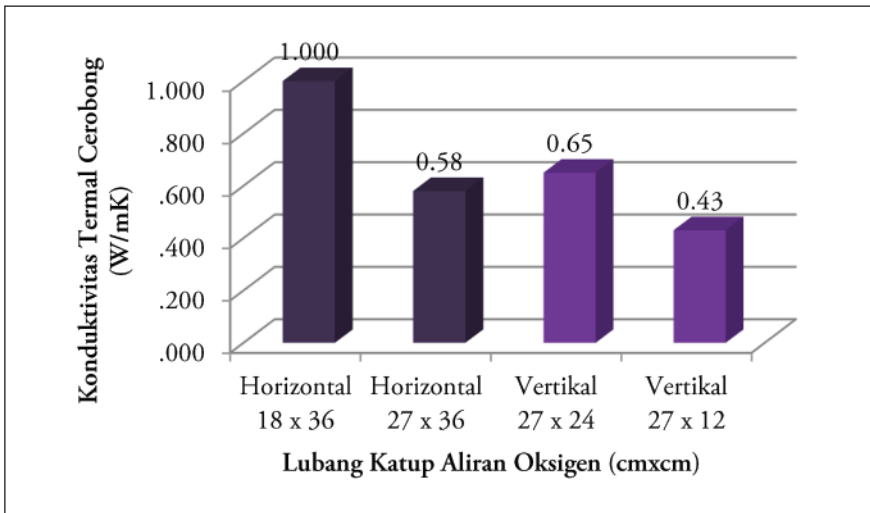
Dengan Q adalah jumlah kalor yang ditransfer (joule), k adalah konduktivitas termal cerobong tungku sekam (W/mK), dT adalah perubahan suhu (K) di mana T_l menunjukkan suhu pada cerobong bagian luar (K) dan T_d menunjukkan suhu pada cerobong bagian dalam (K), serta dx adalah ketebalan cerobong (m). A_c adalah luasan cerobong (m²) dengan panjang 34×10^{-2} m.



Gambar 3.7 Perbandingan rata-rata energi radiasi pada tiap variasi lubang katup aliran oksigen



Gambar 3.8 Perbandingan rata-rata konduktivitas termal wajan pada tiap variasi lubang katup aliran oksigen



Gambar 3.9 Perbandingan rata-rata konduktivitas termal cerobong pada tiap variasi lubang katup aliran oksigen

Gambar 3.7 menunjukkan bahwa rata-rata energi radiasi paling tinggi terjadi ketika tungku sekam dengan lubang katup horizontal $18 \times 36 \text{ cm}^2$ dengan rata-rata 1965.75 joule dan paling rendah ketika lubang katup vertikal $27 \times 12 \text{ cm}^2$ dengan rata-rata 966.11 joule. Besarnya energi radiasi berpengaruh terhadap nilai efisiensi tungku sekam, semakin tinggi energi yang diradiasikan maka efisiensi

tungku sekam semakin rendah, begitupun sebaliknya. Hal tersebut dikarenakan jika energi yang diradiasikan semakin besar, maka energi yang hilang semakin besar, dan energi yang diserap air untuk proses pemanasan menjadi lebih sedikit, sehingga efisiensi tungku sekam rendah. Begitupun sebaliknya, ketika energi yang diradiasikan semakin kecil, maka energi panas akan lebih terfokus untuk pemanasan air, sehingga efisiensi tungku sekam semakin tinggi.

Gambar 3.8 menunjukkan hasil konduktivitas termal wajan. Konduktivitas termal paling tinggi pada tungku sekam dengan lubang katup horizontal $18 \times 36 \text{ cm}^2$ dengan rata-rata 0.63 W/mK , dan paling rendah pada tungku sekam dengan lubang katup horizontal $27 \times 36 \text{ cm}^2$ dengan rata-rata 0.31 W/mK . **Gambar 3.9** menunjukkan perbandingan konduktivitas termal cerobong tungku sekam pada tiap variasi lubang katup aliran oksigen. Konduktivitas termal paling tinggi pada tungku sekam dengan lubang katup horizontal $18 \times 36 \text{ cm}^2$ dengan rata-rata 1.00 W/mK , dan paling rendah pada tungku sekam dengan lubang katup horizontal $27 \times 36 \text{ cm}^2$ dengan rata-rata 0.58 W/mK . Besarnya rata-rata konduktivitas termal pada bagian cerobong tungku sekam lebih tinggi dibandingkan rata-rata konduktivitas termal pada bagian wajan. Besarnya konduktivitas termal bervariasi pada tiap variasi lubang katup aliran oksigen dikarenakan konduktivitas termal merupakan fungsi suhu di mana akan bernilai lebih tinggi pada suhu yang tinggi. Nilai konduktivitas termal dipengaruhi oleh perbedaan temperatur, jenis bahan, panjang material, dan jenis penampang.

Nilai konduktivitas termal berpengaruh terhadap kehilangan energi panas (Pribadi *et al.* 2016), ketika konduktivitas termal suatu bahan rendah maka *heat loss* atau energi panas yang hilang akan semakin rendah pula, semakin rendah energi panas yang hilang maka efisiensi tungku sekam akan semakin optimum.

3.3.4 Efisiensi Tungku Sekam

Efisiensi tungku sekam merupakan perbandingan antara energi yang dibutuhkan untuk mendidihkan air dengan energi panas yang terkandung dalam bahan bakar atau didefinisikan sebagai perbandingan antara daya bersih yang digunakan untuk memanaskan air dengan daya pembakaran bahan bakar, dapat dihitung dengan persamaan (Mulyanto *et al.* 2016):

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (3.18)$$

di mana:

$$P_{out} = \frac{m_f c \Delta T}{t} \quad (3.19)$$

$$P_{in} = \frac{M_f \times HVF}{t} \quad (3.20)$$

Dengan η adalah efisiensi tungku sekam (%), FCR (*Fuel consumption rate*) adalah laju konsumsi bahan bakar (kg/jam), ΔT adalah selisih suhu air sebelum dipanaskan dan setelah mendidih, t adalah lamanya waktu pembakaran (jam), dan HVF (*Heat Value Fuel*) adalah nilai kalor bahan bakar sekam padi (kkal/kg) dengan nilai 3000 kkal/kg (Nawafi *et al.* 2010). Dengan P_{in} adalah daya yang dihasilkan oleh bahan bakar sekam padi (kkal/jam), dan P_{out} adalah daya yang digunakan dalam proses pembakaran (kkal/jam).

Gambar 3.10 menunjukkan perbandingan rata-rata efisiensi tungku sekam pada tiap variasi massa air yang dipanaskan dengan besarnya rata-rata efisiensi pada pemanasan massa air 6 kg, 12 kg, dan 18 kg berturut-turut 11.72%, 13.94%, dan 18.97%. Rata-rata efisiensi tungku sekam paling tinggi pada saat pemanasan 18 kg air. Semakin besar massa air yang dipanaskan, kecenderungan efisiensinya semakin tinggi. Hal tersebut disebabkan semakin banyak massa air yang dipanaskan, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk pembakaran. Lamanya waktu pembakaran dan jumlah aliran udara akan berpengaruh terhadap kesempurnaan proses pembakaran.

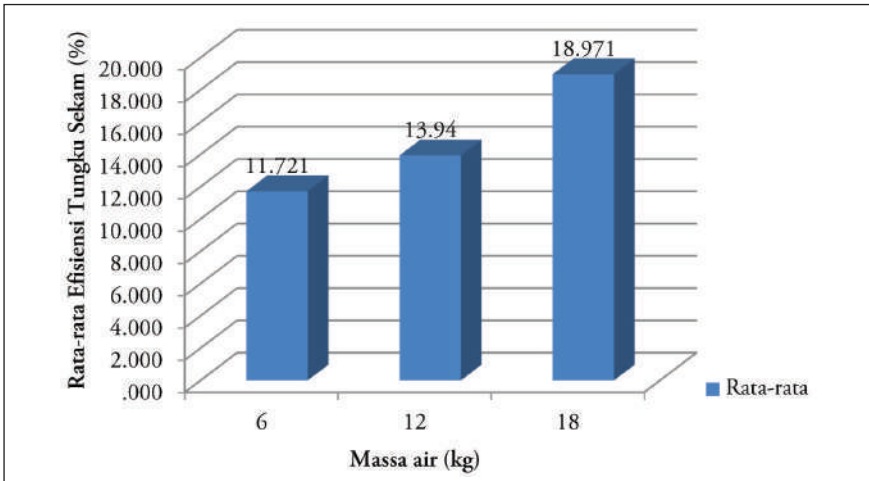
Gambar 3.11 menunjukkan perbandingan rata-rata efisiensi tungku sekam pada tiap variasi lubang katup. Berdasarkan **Gambar 3.11** dapat dilihat bahwa efisiensi tungku sekam paling tinggi diraih pada tungku sekam dengan lubang katup horizontal $27 \times 36 \text{ cm}^2$ dengan rata-rata 17.32%, diikuti oleh tungku sekam dengan katup horizontal $18 \times 36 \text{ cm}^2$ dengan rata-rata 16.01%, diikuti oleh tungku sekam dengan lubang katup vertikal $27 \times 12 \text{ cm}^2$ dengan rata-rata 13.52%, dan nilai efisiensi rata-rata paling rendah pada tungku sekam dengan lubang katup vertikal $27 \times 24 \text{ cm}^2$ dengan rata-rata 12.66%.

Variasi lubang katup aliran oksigen memberikan pengaruh pada kinerja tungku sekam, rata-rata di tiap variasi lubang katup aliran oksigen, semakin lebar ukuran lubang katup maka semakin besar nilai laju kalor, laju konsumsi bahan bakar (FCR), dan efisiensi termal tungku sekam (Anggara *et al.* 2019). Ditinjau dari tiap parameter uji, kondisi tungku sekam optimum pada saat variasi lubang

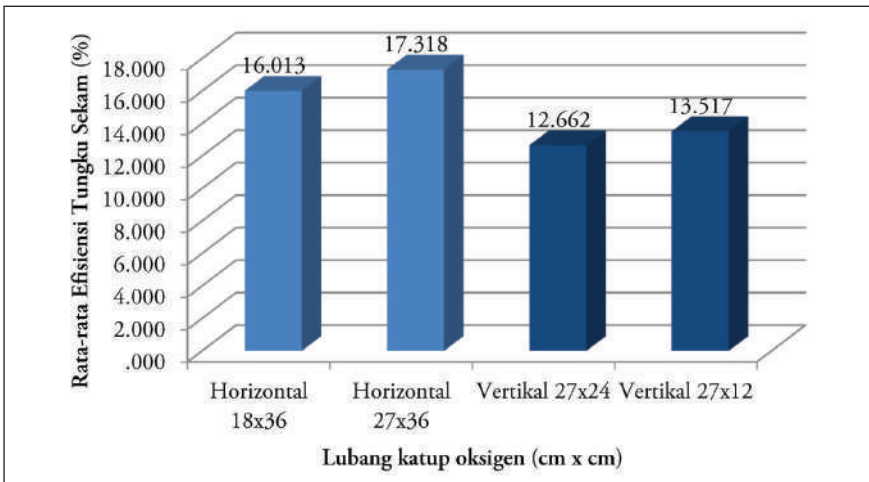
Tungku Sekam IPB

Cara Pembuatan, Cara Pemakaian, Analisis Efisiensi Energi, dan Penerapannya pada Sterilisasi Media Tanam Jamur Tiram

katup horizontal $27 \times 36 \text{ cm}^2$ karena memiliki laju kalor yang besar dan efisiensi termal yang tinggi. Selain itu, dengan waktu untuk mendidihkan air lebih cepat, konsumsi bahan bakar juga rendah. Dengan besarnya energi kalor dan konduktivitas termal pada bagian wajan dan cerobong tungku sekam yang rendah, maka besarnya energi yang hilang semakin rendah dan kinerja tungku sekam semakin optimum.



Gambar 3.10 Perbandingan rata-rata efisiensi tungku sekam pada tiap variasi massa air yang dipanaskan



Gambar 3.11 Perbandingan rata-rata efisiensi tungku sekam pada tiap variasi lubang katup aliran oksigen

3.4 Analisis Statistik Data Efisiensi Tungku Sekam

Data hasil penelitian berupa data primer dan berskala rasio, sehingga analisis statistik data efisiensi tungku sekam dapat dilakukan dengan menggunakan uji *Two-Way Anova* menggunakan bantuan program SPSS 25.0 For Windows dengan derajat kesalahan (α) sebesar 5%. Dengan dasar pengambilan keputusan:

Jika nilai sig < 0.05 maka ada pengaruh signifikan hasil efisiensi tungku sekam berdasarkan variabel faktor.

Jika nilai sig > 0.05 maka tidak ada pengaruh signifikan hasil efisiensi tungku sekam berdasarkan variabel faktor.

Analisis statistik dilakukan terhadap data nilai efisiensi tungku sekam kaitannya dengan variasi lubang katup aliran oksigen dan variasi massa air yang dipanaskan dalam penelitian, untuk mengetahui apakah secara statistik variasi lubang katup aliran oksigen dan variasi massa air yang dipanaskan dalam penelitian berpengaruh terhadap nilai efisiensi tungku sekam. Data nilai efisiensi tungku sekam yang diperoleh merupakan data primer dan berskala rasio, sehingga analisis kuantitatif dapat dilakukan dengan menggunakan uji *Two-way Anova* menggunakan program SPSS 25.0 for windows dengan derajat kesalahan (α) sebesar 5%.

Tabel 3.1 Hasil uji analisis statistik

No	Uji Statistik	Variabel Faktor	A	Sig	Interpretasi
1	Uji Normalitas		0.05	0.653	Sig > α , data berdistribusi normal
2	Uji Homogenitas		0.05	0.447	Sig > α , data homogen
3	Uji <i>Two-way Anova</i>	Lubang katup tungku sekam	0.05	0.001	Sig < α , ada pengaruh signifikan variasi lubang katup tungku sekam terhadap nilai efisiensi tungku sekam.
		Massa air	0.05	0.000	Sig < α , ada pengaruh signifikan variasi massa air yang dipanaskan terhadap nilai efisiensi tungku sekam.
		Lubang katup * Massa air	0.05	0.000	Sig < α , ada pengaruh signifikan antara kombinasi variasi massa air yang dipanaskan dan variasi lubang katup tungku sekam terhadap nilai efisiensi tungku sekam.

Uji *Two-way Anova* dapat dilakukan apabila memenuhi asumsi data berdistribusi normal dan homogen, sehingga dilakukan uji normalitas dan uji homogenitas sebelum melakukan uji *Two-way Anova*. Uji normalitas dilakukan dengan menggunakan uji Shapiro-Wilk, berdasarkan **Tabel 3.1** dapat diketahui bahwa pada uji normalitas, diperoleh nilai signifikansi sebesar 0.653 lebih besar dari nilai α (0.05), sehingga berdasarkan dasar pengambilan keputusan pada uji normalitas, dapat dinyatakan bahwa data berdistribusi normal. Adapun uji homogenitas dilakukan dengan menggunakan uji *Levene's test*, pada uji homogenitas diperoleh signifikansi 0.447 lebih besar dari nilai α (0.05), sehingga berdasarkan dasar pengambilan keputusan pada uji homogenitas, dapat dinyatakan bahwa data bersifat homogen. Dikarenakan data telah memenuhi uji normalitas dan uji homogenitas, maka uji *Two-way Anova* dapat dilakukan.

Berdasarkan **Tabel 3.1** dapat dilihat bahwa nilai signifikansi untuk variasi massa air yang dipanaskan adalah 0.000 lebih kecil dari α (0.05), sehingga berdasarkan dasar pengambilan keputusan untuk uji *Two-way Anova*, dapat dinyatakan bahwa ada pengaruh signifikan pada hasil nilai efisiensi tungku sekam berdasarkan variasi massa air yang dipanaskan. Nilai signifikansi untuk variasi lubang katup tungku sekam sebesar 0.001 lebih kecil dari α (0.05), juga menunjukkan bahwa ada pengaruh signifikan pada hasil nilai efisiensi tungku sekam berdasarkan variasi lubang katup aliran oksigen. Begitupun kombinasi variasi lubang katup tungku sekam dengan variasi massa air yang dipanaskan juga menunjukkan adanya pengaruh signifikan terhadap nilai efisiensi tungku sekam. Berdasarkan analisis statistik yang dilakukan, dapat ditarik validasi bahwa variasi massa air yang dipanaskan dan variasi lubang katup aliran oksigen pada tungku sekam berpengaruh terhadap nilai efisiensi tungku sekam.

Daftar Pustaka

- Ale BB Er, Bhatara N Er, Gautman J, Chapagain P, Pushpa KC. 2009. Institutional gasifier stove: A sustainable prospect for institutional cooking. *Journal of the Institute of Engineering*. 7(1): 1–8.
- Anggara R, Suwandi, Reza FI. 2019. Pengaruh jumlah lubang udara pada tungku pembakaran serta variasi kecepatan aliran udara terhadap kinerja kompor gasifikasi dengan bahan bakar pellet kayu jati. *E-Proceeding of Engineering*. 6(2): 5231–5232.

- Belonio. 1985. *Rice Huso Gas Store Handbook*. Appropriate Technology Centre. Departement of Agricultural Engineering and Environmental Management. Collage of Agricultural Central Philipine University Iloilo City. Philipine.
- Darmasetiawan H, Demijati, Siswadi, Irzaman. 2010. Kajian hasil pembuatan tiga macam ukuran lubang berbentuk persegi panjang pada tubuh tungku sekam. *Berkala Fisika*. 13(2): C1–C2.
- Firdaus FH, Ana F, Irlan N, Maya R, Irzaman, Ardian AS. 2015. Analisis efisiensi termal kompor berbahan bakar sekam dan limbah baglog pada sterilisasi jamur tiram. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 16(1): 66–67.
- Hajar S, Har NP, Irmansyah, Arif A, Irzaman. 2022. Optimization of oxygen flow valve holes in small industrial scale husk furnaces. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*. 11(2): 255–265.
- Irzaman, Alatas H, Darmasetiawan H, Yani A, Musiran, 2008. Development of Cooking Stove from Waste (Rice Husk). Institut Pertanian Bogor, Departemen Fisika, FMIPA IPB, Kampus IPB Dramaga.
- Maulana R. 2008. Optimasi tungku sekam dengan variasi lubang utama pada badan kompor [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Mulyanto A, Mirmanto, Muhammad A. 2016. Pengaruh ketinggian lubang udara pada tungku pembakaran biomassa terhadap unjuk kerjanya. *Dinamika Teknik Mesin*. 6(1): 23–29.
- Noor I, Faozan A, Husin A, Irzaman. 2016. Simulation of heat transfer in husk furnace with cone geometry based on conical coordinate system. *Journal of Physics*. 877(1): 1–6. doi: 10.1088/1742-6596/877/1/012025.
- Pribadi LAW, Nurchayati, Made W. 2016. Pengaruh variasi jenis dan tebal isolasi terhadap kehilangan energi panas pada tungku gasifikasi sekam padi multi burner [skripsi]. NTT: Universitas Mataram.
- Widodo AS. 2015. Jarak optimum panci terhadap selubung pada efisiensi sistem pemanasan air. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 6(1): 70–72.
- Yahaya DB, Ibrahim TG. 2012. Development of rice husk briquettes for use as fuel. *Research Journal in Engineering and Applied Science*. 1(2): 130–132.

Bab 4

Simulasi Distribusi Panas Tungku Sekam

4.1 Pendahuluan

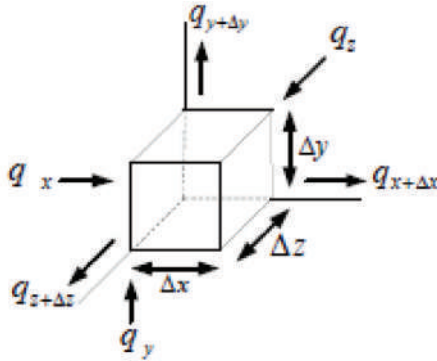
Transfer panas dan sebaran panas merupakan kejadian penting yang berhubungan dengan besar temperatur, kecepatan fluida, serta besar energi yang dihasilkan. Sebaran panas pada tungku akan semakin baik ketika temperatur, kecepatan fluida, dan energi yang dihasilkan tungku semakin besar. Selain itu, sebaran panas tungku juga dipengaruhi oleh bentuk desain tungku itu sendiri. Profil sebaran panas tungku dapat diketahui dengan bantuan komputasi. Salah satu metode komputasi yang digunakan untuk mengetahui profil sebaran panas tungku yaitu FDM (*Finite Difference Method*) yang merupakan salah satu teknik numerik untuk menyelesaikan persamaan diferensial.

Simulasi sebaran panas tungku sekam telah dilakukan dengan menguji pada bagian tungku sekam yang berbentuk kerucut dalam sistem koordinat konikal. Simulasi tersebut bertujuan untuk mempelajari mekanisme transfer panas konduksi dan konveksi yang terjadi pada kerucut tungku. Simulasi tersebut dilakukan dengan cara menganalisis fenomena konduksi dan konveksi yang terjadi pada kerucut tungku sekam dengan mengatur temperatur awal di seluruh silinder dengan temperatur ruang, kemudian temperatur bawah kerucut sebesar 700 °C, dengan selang waktu 45 dan 60 detik. Simulasi tersebut dilakukan dengan menggunakan persamaan hantaran kalor yang dihitung secara numerik dengan metode FDM dan menghasilkan kecepatan aliran fluida konveksi selama 45 detik dan 60 detik adalah 13.69 dan 11.90 m/s. Adapun peralatan yang digunakan pada simulasi sebaran panas tersebut berupa komputer dengan spesifikasi processor Intel Core™ i5-4210U dengan memori 4GB, HDD 1000 GB. Adapun *Operating System* yang digunakan adalah Microsoft Windows 7 Ultimate (*licensed*) dan *software* yang dibutuhkan meliputi Microsoft Office 2013 (*licensed*) dan MATLAB R2014a (*licensed*).

4.2 Pemodelan Matematis Sebaran Panas dalam Koordinat Sistem

Proses sebaran panas dalam koordinat konikal dimulai dengan melakukan pemodelan persamaan panas tiga dimensi pada sistem koordinat kartesius dan kemudian ditransformasikan ke dalam sistem koordinat konikal. Selanjutnya akan dicari model matematis perambatan panas yang terjadi. Namun, untuk selanjutnya pemanasan tergantung dari jenis bahannya yang diamati, kalor jenis bahan c , konduktivitas temperatur bahan k dan massa jenis bahan ρ .

Persamaan konduksi pada tiga dimensi dapat diturunkan dari bentuk kontrol volume yang tepi-tepinya Δx , Δy , dan Δz masing-masing sejajar dengan sumbu x , y , dan z seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 4.1 Kontrol volume benda dimensi tiga

Volume dari elemen tersebut adalah $\Delta V = \Delta x \Delta y \Delta z$ maka massa dari elemen adalah $\Delta m = \rho \Delta V = \rho \Delta x \Delta y \Delta z$. Jumlah panas pada elemen ini saat waktu t adalah:

$$Q(x, y, z, t, \Delta x, \Delta y, \Delta z) = c \Delta m T(x, y, z, t) = c \rho \Delta x \Delta y \Delta z T(x, y, z, t) \quad (4.1)$$

Rata-rata dari perubahan panas yang terjadi pada elemen ini adalah:

$$\frac{dQ}{dt} = c \rho \Delta x \Delta y \Delta z T \frac{\partial T}{\partial t}(x, y, z, t) \quad (4.2)$$

Sesuai dengan prinsip kekekalan energi, yaitu rata-rata perubahan panas harus sama dengan aliran panas yang masuk dikurangi aliran panas yang keluar, maka didapat:

$$\frac{dQ}{dt} = q_x + q_y + q_z - q_{x+\Delta x} - q_{y+\Delta y} - q_{z+\Delta z} \quad (4.3)$$

Banyaknya energi tiap elemen ditunjukkan sebagai berikut:

$$q_x = -k\Delta y\Delta z \frac{dT}{dx} \quad (4.4)$$

$$q_{x+\Delta x} = -\left[k \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) \Delta x \right] \Delta y \Delta z \quad (4.5)$$

$$q_y = -k\Delta x\Delta z \frac{dT}{dy} \quad (4.6)$$

$$q_{y+\Delta y} = -\left[k \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) \Delta y \right] \Delta x \Delta z \quad (4.7)$$

$$q_z = -k\Delta x\Delta y \frac{dT}{dz} \quad (4.8)$$

$$q_{z+\Delta z} = -\left[k \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \Delta z \right] \Delta x \Delta y \quad (4.9)$$

Persamaan (4.2) dan persamaan (4.4) hingga persamaan (4.9) disubstitusikan ke persamaan (4.3) dan dibagi dengan Δx , Δy , dan Δz , sehingga didapat persamaannya menjadi:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (4.10)$$

Konduktivitas termal tetap, maka persamaan (4.10) dapat ditulis persamaannya menjadi:

$$\frac{c\rho}{k} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \nabla^2 T \quad (4.11)$$

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \nabla^2 T \quad (4.12)$$

$\nabla^2 T$ adalah operator laplace. Persamaan (4.12) adalah persamaan panas tiga dimensi dalam koordinat kartesius.

4.3 Persamaan Diffusivitas dalam Sistem Koordinat Konikal

Persamaan diffusivitas dalam suatu koordinat sistem adalah sebagai berikut:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \bar{U} \cdot \nabla T = k \nabla^2 T \tag{4.13}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho C_p} \nabla^2 T - \frac{1}{\rho C_p} \bar{U} \cdot \nabla T \tag{4.14}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T - \frac{1}{\rho C_p} \bar{U} \cdot \nabla T \tag{4.15}$$

Di mana α merupakan konstanta diffusivitas panas kerucut untuk kejadian konduksi, sedangkan \bar{U} adalah kecepatan aliran fluida untuk kejadian konveksi di dalam sistem konikal koordinat.

Persamaan laplace kuadrat di dalam sistem konikal koordinat adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \nabla^2 T = & \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2\partial T}{r\partial r} + \frac{1}{r^2(\theta^2 - \lambda^2)} \left\{ (\theta^2 - b^2)(c^2 - \theta^2) \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} - \theta [2\theta^2 - (b^2 + c^2)] \frac{\partial T}{\partial \theta} \right. \\ & \left. + (b^2 - \lambda^2)(c^2 - \lambda^2) \frac{\partial^2 T}{\partial \lambda^2} + \lambda [2\lambda^2 - (b^2 + c^2)] \frac{\partial T}{\partial \lambda} \right\} \end{aligned} \tag{4.16}$$

Serta persamaan gradien temperatur berdasarkan sistem konikal koordinat adalah:

$$\begin{aligned} \nabla T = & \bar{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r(\theta^2 - \lambda^2)^{\frac{1}{2}}} X \left\{ \bar{\theta} (\theta^2 - b^2)^{\frac{1}{2}} (c^2 - \theta^2)^{\frac{1}{2}} \frac{\partial T}{\partial \theta} \right. \\ & \left. + \bar{\lambda} (b^2 - \lambda^2)^{\frac{1}{2}} (c^2 - \lambda^2)^{\frac{1}{2}} \frac{\partial T}{\partial \lambda} \right\} \end{aligned} \tag{4.17}$$

Di mana r , θ , dan λ adalah gradien temperatur untuk masing-masing arah r , θ , λ . Pada penelitian ini kecepatan fluida yang digunakan arah kecepatan fluida berdasarkan arah r , sedangkan untuk arah yang lain diasumsikan 0, sehingga persamaan gradien temperatur menjadi:

$$\nabla T = \bar{U}_r \frac{\partial T}{\partial r} \tag{4.18}$$

Persamaan (4.16) dan persamaan (4.18) dimasukkan ke dalam persamaan (4.15) sehingga menghasilkan persamaan baru, yaitu persamaan difusivitas panas berdasarkan konikal koordinat sistem. Persamaan inilah yang akan digunakan dalam melakukan simulasi sebaran panas tungku sekam berbentuk kerucut.

4.4 Solusi Eksak Kecepatan Aliran Fluida

Kecepatan fluida yang digunakan pada penelitian ini adalah kecepatan fluida arah r . Di mana kecepatan fluida tersebut didapatkan berdasarkan penyelesaian persamaan *Navier – Stokes* di dalam konikal koordinat sistem. Persamaan umum *Navier – Stokes* adalah sebagai berikut:

$$\rho \frac{D\bar{U}}{Dt} = -\nabla P + \rho \bar{g} + \mu \nabla^2 U \quad (4.19)$$

Keterangan bahwa μ , P , dan g merupakan viskositas kinetik fluida, tekanan, serta gravitasi. Adapun solusi eksak kecepatan fluida arah r konikal koordinat berdasarkan persamaan dinamika fluida *Navier – Stokes* adalah sebagai berikut:

$$U_r(r) = \frac{\beta}{4\mu} (a^2 - r^2) \quad (4.20)$$

Syarat batas yang digunakan adalah:

$$U_r(0) = \text{finite}; r = 0 \quad (4.21)$$

$$U_r(a) = 0; r = a \quad (4.22)$$

di mana a adalah suatu konstanta yang besar nilainya sama dengan panjang r .

4.5 Transformasi Persamaan Analitik ke Persamaan Diskrit FDM

Berikut adalah persamaan FDM orde 1 dan orde 2:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T(r_j, \lambda_i, t_k + \Delta t) - T(r_j, \lambda_i, t_k)}{\Delta t} \quad (4.23)$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} = \frac{T(r_j + \Delta r, \lambda_i, t_k) - T(r_j - \Delta r, \lambda_i, t_k)}{\Delta r} \quad (4.24)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} = \frac{T(r_j + \Delta r, \lambda_i, t_k) - 2T(r_j, \lambda_i, t_k) + T(r_j - \Delta r, \lambda_i, t_k)}{\Delta r^2} \quad (4.25)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial \lambda^2} = \frac{T(r_j, \lambda_i + \Delta \lambda, t_k) - 2T(r_j, \lambda_i, t_k) + T(r_j, \lambda_i - \Delta \lambda, t_k)}{\Delta \lambda^2} \quad (4.26)$$

Untuk mempermudah notasi diberikan indeks:

$$T(r_j, \lambda_i, t_k + \Delta t) = T_{j,i,k+1} \quad (4.27)$$

$$T(r_j, \lambda_i + \Delta t, t_k) = T_{j,i+1,k} \quad (4.28)$$

$$T(r_j, \lambda_i - \Delta t, t_k) = T_{j,i-1,k} \quad (4.29)$$

$$T(r_j + \Delta r, \lambda_i, t_k) = T_{j+1,i,k} \quad (4.30)$$

$$T(r_j - \Delta r, \lambda_i, t_k) = T_{j-1,i,k} \quad (4.31)$$

Indeks j untuk panjang r , indeks i untuk lamda, dan indeks k untuk waktu. Dengan demikian, persamaan diskrit FDM untuk persamaan konduksi dan konveksi pada konikal koordinat adalah:

$$\begin{aligned} \frac{T_{k+1} - T_k}{dt} = \alpha & \left[\frac{T_{j+1,i} - 2T_{j,i} + T_{j-1,i}}{dr^2} + \frac{2}{r} \left(\frac{T_{j+1,i} - T_{j,i}}{dr} \right) \right. \\ & + \frac{1}{r^2 (\theta^2 - \lambda^2)^{\frac{1}{2}}} \left\{ (b^2 - \lambda^2)(c^2 - \lambda^2) \left(\frac{T_{j,i+1} - 2T_{j,i} + T_{j,i-1}}{d\lambda^2} \right) \right. \\ & \left. \left. - \lambda [2\lambda^2 - (b^2 + c^2)] \left(\frac{T_{j,i+1} - T_{j,i}}{d\lambda} \right) \right\} \right] - \frac{1}{\rho C_p} \bar{U}_r \left[\left(\frac{T_{j+1,i} - T_{j,i}}{dr} \right) \right] \quad (4.32) \end{aligned}$$

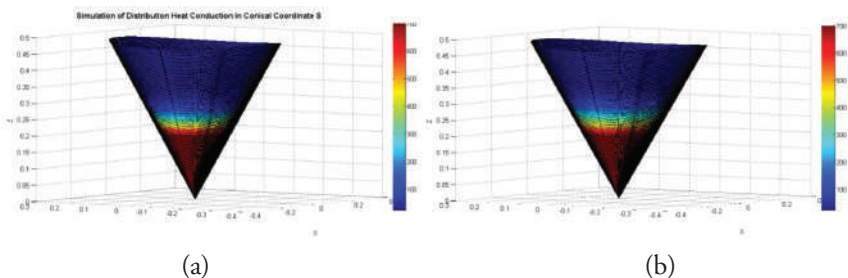
4.6 Simulasi Sebaran Panas Konduksi dalam Sistem Koordinat Konikal

Konduksi merupakan transfer energi kalor yang terjadi melalui interaksi antara atom-atom atau molekul-molekul, yang tidak disertai dengan perpindahan atom dan molekul. Konduksi secara atomik merupakan pertukaran energi kinetik antar molekul (atom), di mana partikel yang memiliki energi yang lebih rendah dapat menumbuk partikel yang memiliki energi yang lebih tinggi. Konduksi terjadi melalui getaran dan gerakan elektron bebas pada suatu benda akibat pemanasan (Ebadian 1989). Pemanasan pada logam berarti pengaktifan gerakan molekul, sedangkan pendinginan berarti pengurangan gerakan molekul (Lienhard 2005).

Menurut teori kinetik, temperatur suatu elemen zat sebanding dengan energi kinetik rata-rata dari molekul-molekul yang membentuk elemen tersebut. Perbedaan temperatur di antara dua daerah lokal dalam zat sebenarnya adalah manifestasi dari keadaan dimana energi kinetik rata-rata dari molekul-molekul daerah lokal yang satu lebih tinggi dari energi kinetik rata-rata molekul-molekul daerah lokal yang ke dua (Hsu 1968).

Simulasi sebaran panas konduksi dalam sistem koordinat konikal dilakukan pada kerucut tungku sekam dengan ukuran tinggi dan diameter 49×35 cm, sedangkan panjang selimut kerucut r adalah 55 cm. Waktu pengukuran sebaran panas ini dilakukan selama 45 detik dan 60 detik. Adapun kondisi awal kerucut adalah temperatur kamar yaitu 25 °C untuk di seluruh permukaan kerucut, kecuali temperatur pada sumber diberikan sebesar 700 °C. Bahan material kerucut tungku sekam adalah seng. Oleh karena itu, konduktivitas termal bahan yang digunakan adalah udara dan seng yaitu masing-masing sebesar 0.023 J/m.s. °C dan 116 J/m.s. °C.

Gambar berikut menunjukkan simulasi sebaran panas kerucut tungku oleh proses konduksi. Hasil yang didapat adalah besar temperatur pada **Gambar 4.2a** lebih kecil dibandingkan dengan **Gambar 4.2b**. Dalam kasus ini, transfer panas pada kerucut adalah keadaan tidak tunak.



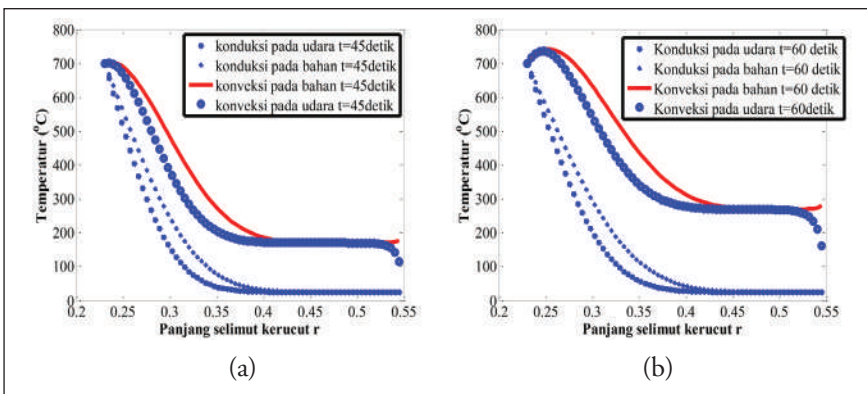
Gambar 4.2 Distribusi transfer panas konduksi kerucut tungku sekam (a) 45 detik dan (b) 60 detik dalam sistem koordinat konikal

4.7 Simulasi Sebaran Panas Konveksi dalam Sistem Koordinat Konikal

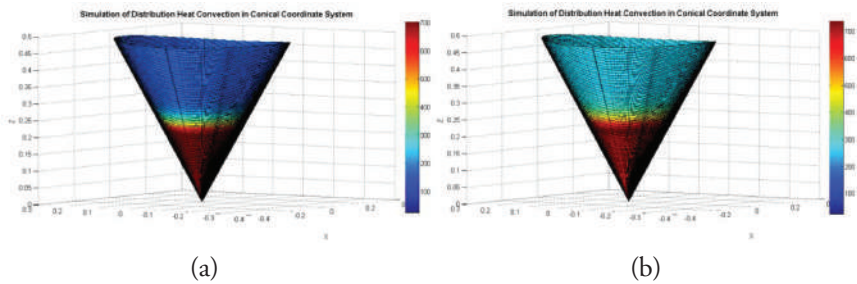
Konveksi merupakan proses perpindahan panas langsung melalui perpindahan massanya dengan cara difusi. Konveksi merupakan suatu fenomena makroskopik dan hanya berlangsung bila ada gaya yang bekerja pada partikel atau ada arus fluida yang dapat membuat gerakan melawan gaya gesek.

Pada grafik temperatur terhadap panjang selimut r , untuk transfer panas konduksi serta konveksi pada waktu $t = 45$ detik, didapatkan bahwa temperatur transfer panas konveksi lebih besar daripada temperatur oleh transfer panas konduksi, baik pada bahan kerucut atau di udara. Dapat diamati dari grafik bahwa kejadian transfer panas konduksi pada saat $t = 45$ detik, dengan $r = 0.35$ m, temperatur yang dihasilkan pada konduksi sebesar 38.81 °C untuk udara, 75.47 °C untuk seng, serta temperatur konveksi yang dihasilkan adalah 201.94 °C untuk udara dan 268.66 °C untuk bahan seng.

Sementara pada waktu $t = 60$ detik dan posisi r yang sama yaitu $r = 0.35$ m untuk transfer panas konveksi temperatur yang dihasilkan pada konduksi sebesar 55.39 °C untuk udara, 110.31 °C untuk seng, serta temperatur konveksi yang dihasilkan adalah 374.32 °C untuk udara dan 430.61 °C untuk bahan seng. Hal ini disebabkan oleh adanya kecepatan fluida yang menghantarkan panas untuk kejadian konveksi, sedangkan pada konduksi transfer panas terjadi karena interaksi antar atom yang bervibrasi dengan memiliki nilai konduktivitas termal udara yang kecil yaitu sebesar 0.023 J/m.s. °C.



Gambar 4.3 Grafik temperatur vs panjang selimut kerucut tungku sekam (a) 45 detik dan (b) 60 detik dalam sistem koordinat konikal



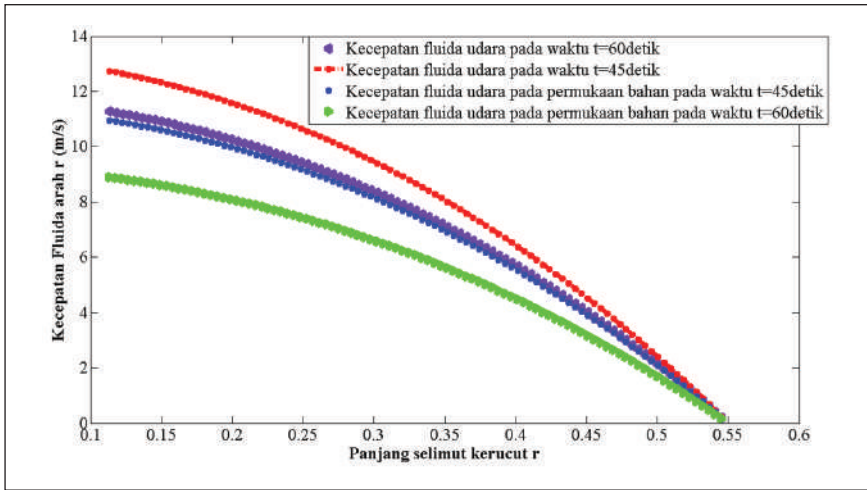
Gambar 4.4 Distribusi transfer panas konveksi (a) 45 detik dan (b) 60 detik dalam sistem koordinat konikal

4.8 Simulasi Kecepatan Fluida dalam Sistem Koordinat Konikal

Adanya gradien temperatur yang besar pada konveksi kerucut, menyebabkan terjadi perbedaan tekanan sesuai dengan rumusan gas ideal. Semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi tekanan yang dihasilkan. Perbedaan tekanan menyebabkan terjadinya perbedaan densitas, sehingga timbul aliran fluida, di mana fluida bergerak dari tekanan tinggi ke tekanan yang lebih rendah. Pada penelitian ini diasumsikan bahwa perbedaan tekanan bernilai tetap.

Berdasarkan pada aliran laminar di kerucut vertikal, kecepatan fluida arah sumbu r lebih besar daripada kecepatan fluida arah sumbu θ , dan arah sumbu λ , sehingga pada penelitian ini kecepatan fluida pada arah sumbu θ dan λ adalah 0. Berdasarkan persamaan kecepatan fluida konveksi (4.11), grafik kecepatan fluida arah r terhadap panjang r ditunjukkan sebagai berikut:

Berdasarkan dari **Gambar 4.5**, didapatkan bahwa nilai kecepatan fluida arah r tertinggi yaitu 13,96 m/s. Nilai kecepatan fluida semakin besar jika nilai r semakin kecil atau sebaliknya. Hal ini disebabkan oleh gradient temperatur besar di arah r , nilai temperatur besar untuk di panjang selimut kerucut r yang kecil.



Gambar 4.5 Grafik kecepatan fluida vs panjang selimut kerucut tungku

Daftar Pustaka

- Ebadian M, Zhang H. 1989. An exact solution of extended Graetz problem with axial heat conduction. *Int J. Heat Mass Transfer*. 32(9): 1709–1717. doi: 10.1016/0017-9310(89)90053-7.
- Hsu CJ. 1968. Exact solution to entry-region laminar heat transfer with axial conduction and the boundary condition of the third kind. *Chem. Eng. Sci.* 23(5): 457–468. doi: 10.1016/0009-2509(68)87022-8.
- Irzaman, Husin A, Hanedi DS, Ahmad Y, Musiran. 2008. Development of cooking stove from waste (rice husk). Bogor: Departemen Fisika, FMIPA IPB, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga.
- Irzaman, Husin A, Hanedi DS, Irmansyah, Hendradi H, Abdullah K, Tojo S. 2009. Optimization of thermal efficiency of cooking stove with rice-husk fuel in supporting the proliferation of alternative energy in Indonesia. Symposium Advanced Technological Development of biomass Utilization in Southeast Asia, Tokyo, Tokyo University of Agriculture and Technology. 40–43.

- [KNRT] Kementerian Negara Riset Teknologi. 2006. Pengembangan dan penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi bidang sumber energi baru dan terbarukan untuk mendukung keamanan ketersediaan energi tahun 2025. [diakses pada: <http://www.docplayer.info/100730-Indonesia-2005-2025-buku-putih.html>]. [diunduh pada: 2015 September 10].
- Lienhard, John H. 2005. *A Heat Transfer Textbook*. Ed ke-3. Massachusetts, USA: Phlogiston Pressridge.
- Moon P, Spencer DE. 1988. "Conical Coordinates (r, θ, λ).” Table 1.09 in Field theory handbook, including coordinate systems, differential equation and their solution. Ed ke-2. New York: Springer-Verlag. 37–40.
- Noor I, Irzaman, Syafutra H, Ahmad F. 2016. Simulation of heat transfer in cylinder husks furnace with finite difference method. IOP Conf. 31(2016) 012013. doi:10.1088/1755-1315/31/1/012013.
- Rectenwald, Gerald W. 2011. *Finite-Difference Approximations to The Heat Equation*. Portland, Oregon: Mechanical Engineering Department Portland State University.

Bab 5

Penerapan Tungku Sekam

5.1 Tungku Sekam untuk Proses Sterilisasi *Baglog* Jamur Tiram dan Miselium

Bab ini membahas tentang penerapan dari tungku sekam. Salah satu penggunaan dari tungku sekam yaitu bahan bakar sekam dapat diaplikasikan untuk menganalisis efisiensi energi pada proses sterilisasi *baglog* jamur tiram. Pembudidayaan jamur tiram (jamur tiram putih) menggunakan media tanam yang kondisinya disesuaikan dengan tempat pertumbuhannya di alam, yakni disebut sebagai *baglog*. Media *baglog* terdiri atas 80% serbuk gergaji, 15% dedak, 5% kapur pertanian, jagung pecah, dan gips.

Keberhasilan pembudidayaan jamur tiram putih sangat dipengaruhi oleh proses sterilisasi. Proses sterilisasi bertujuan untuk menghilangkan bakteri, cendawan, dan khamir (patogen) pada *baglog*. Proses sterilisasi ini menggunakan suhu pada rentang 89–141 °C. Pertanian jamur tiram putih skala besar biasanya melakukan proses sterilisasi menggunakan autoklaf. Sementara pada skala kecil menggunakan drum untuk mengukus *baglog* dan tungku berbahan bakar gas LPG, minyak tanah, kayu bakar, dan lain-lain. Namun, bahan bakar tersebut mulai mengalami kelangkaan. Oleh karena itu, bahan bakar sekam padi dapat dijadikan sebagai alternatif karena memiliki efisiensi yang tinggi yaitu mencapai 15.8% lebih tinggi daripada bahan bakar limbah *baglog* dengan efisiensi 9.03%, serta bahan campuran (sekam padi dan *baglog*) dengan efisiensi mencapai 13.72%.

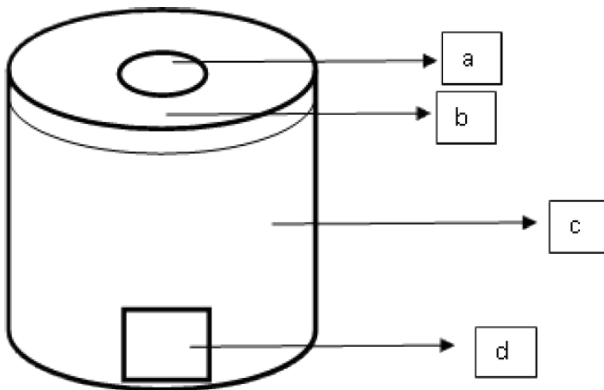
Berdasarkan hal tersebut, dilakukan analisis untuk mengetahui apakah bahan bakar dari limbah sekam padi dapat diaplikasikan untuk sterilisasi *baglog* jamur tiram dan pemilihan jamur sebagai bibit induk menggunakan media sorgum di Desa Situ Ilir, Bogor. Karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan sebagai analisis pendukung untuk mengetahui struktur senyawa dari miselium dan jamur tiram. Selain itu, juga dapat diketahui karakteristik fonon optik dari sampel miselium dan jamur tiram.

5.2 Proses Sterilisasi *Baglog* Jamur Tiram dan Miselium

Berikut ini merupakan proses-proses dalam proses sterilisasi *baglog* jamur tiram dengan karakterisasi menggunakan FTIR.

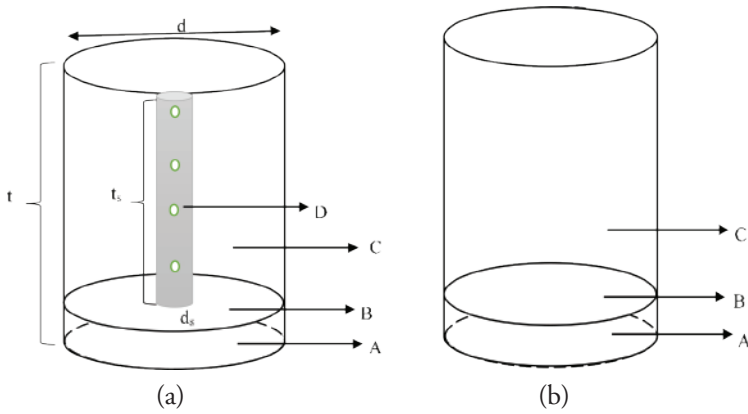
5.2.1 Desain Tungku Sekam Sederhana

Bahan yang digunakan terdiri atas miselium dan jamur tiram, bibit dari media sorgum, sekam padi, serbuk kayu, dedak, kapur pertanian (kapstan). Alat yang digunakan berupa tungku sederhana terbuat dari drum yang dipotong dengan ukuran tinggi 47 cm, diameter 56 cm, dan tebal 1 cm. Desain tungku sederhana sebagai berikut:



Gambar 5.1 Tungku sederhana terdiri atas (a) lubang pembatas api, (b) bahan isi, (c) badan tungku, (d) lubang utama

Drum dan selongsong besi dirangkai seperti gambar berikut:



Gambar 5.2 (a) Drum menggunakan selongsong; (b) Drum tanpa selongsong

Gambar 5.2 terdiri atas bagian yang terisi air (A), tatakan untuk pembatas air dan *baglog* (B), bagian terisi *baglog* (C) dan selongsong (D). Drum dengan ukuran tinggi (t) 90 cm, diameter (d) 59 cm, tinggi selongsong (t_s) 110 cm dan diameter selongsong (d_s) 9 cm.

5.2.2 Analisis Efisiensi Bahan Bakar

Analisis data untuk menentukan efisiensi bahan bakar dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

1. Melakukan pengomposan bahan isi *baglog*.
2. Pembuatan *baglog* menggunakan plastik PP sebanyak 204 buah dengan massa 1 kg, tinggi rata-rata 21.3 cm dan diameter rata-rata 10.5 cm.
3. Menimbang sekam sebanyak 18.5 kg kemudian dipadatkan ke dalam tungku sederhana.
4. Membuat lubang di tengah dan di bawah bahan bakar sebagai saluran apinya dengan diameter rata-rata 7.8 cm.
5. Mengisi drum sterilisasi dengan air, menyusun tatakan, selongsong, dan *baglog*.
6. Menutup drum sterilisasi menggunakan karung dan plastik kemudian diikat hingga rapat.
7. Menimbang kayu yang akan digunakan sebagai bahan bakar.

Tungku Sekam IPB

Cara Pembuatan, Cara Pemakaian, Analisis Efisiensi Energi, dan Penerapannya pada Sterilisasi Media Tanam Jamur Tiram

- Melakukan sterilisasi *baglog* dengan selongsong dan tanpa selongsong selama 6 jam setelah air dalam drum mendidih.
- Mendinginkan *baglog* yang telah disterilisasi.
- Menimbang sisa pembakaran.
- Menghitung bahan bakar yang terbakar dan efisiensi pembakaran.
- Perlakuan 2 kali ulangan selongsong dan tanpa selongsong.

Laju energi (Q_n) dan efisiensi (η) dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q_n = \frac{m_f \times E_s}{t} \quad (1)$$

$$\eta = \frac{Q_n}{(FCR \times Hvf)_{\text{sekam}} + (FCR \times Hvf)_{\text{kayu}}} \quad (2)$$

Keterangan:

Q_n adalah laju energi yang dibutuhkan (kcal/jam)

m_f adalah massa air (kg)

E_s adalah energi spesifik (kcal/kg)

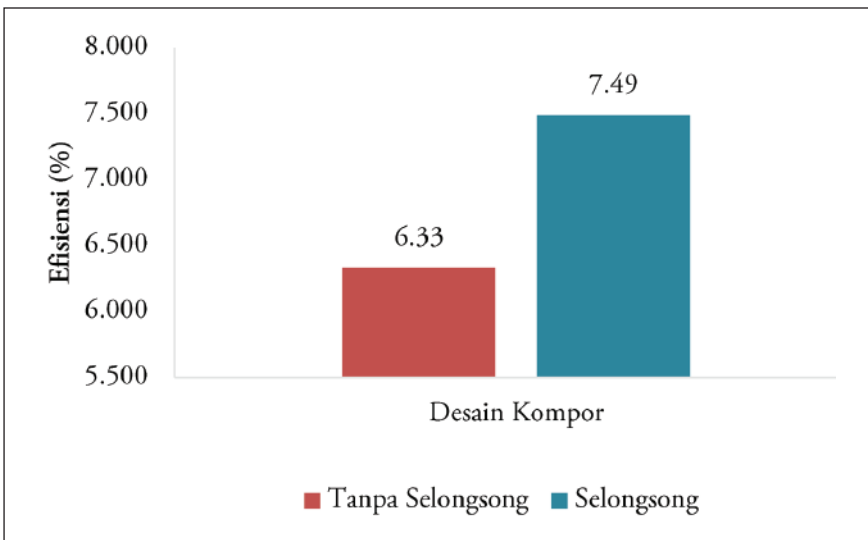
t adalah waktu (jam)

η adalah efisiensi bahan bakar (%)

FCR adalah *Fuel Consumption Rate* (kg/jam)

Hvf adalah *Heat value Fuel* (kcal/kg)

Hasil efisiensi bahan bakar disajikan melalui gambar di bawah ini.



Gambar 5.3 Efisiensi bahan bakar sekam padi

5.2.3 Karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Langkah-langkah sebelum melakukan karakterisasi menggunakan FTIR, yakni:

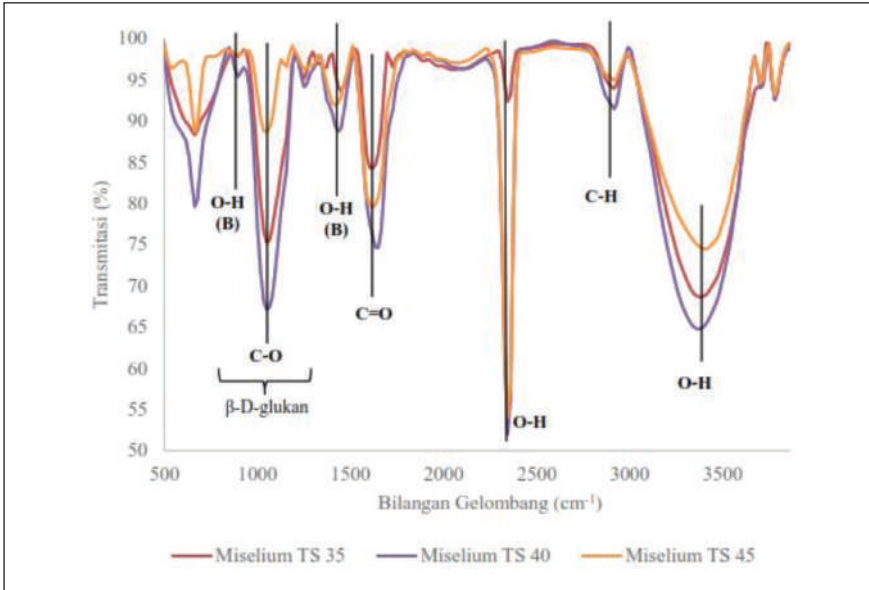
1. Mengeluarkan *baglog* yang selesai sterilisasi setelah didinginkan.
2. Melakukan inokulasi bibit media sorgum pada *baglog*.
3. Memberi 3 jenis label waktu inkubasi 35, 40, dan 45 hari pada setiap *baglog* dengan jumlah yang merata. Kode yang digunakan yaitu:

Tabel 5.1 Kode sampel dan keterangannya

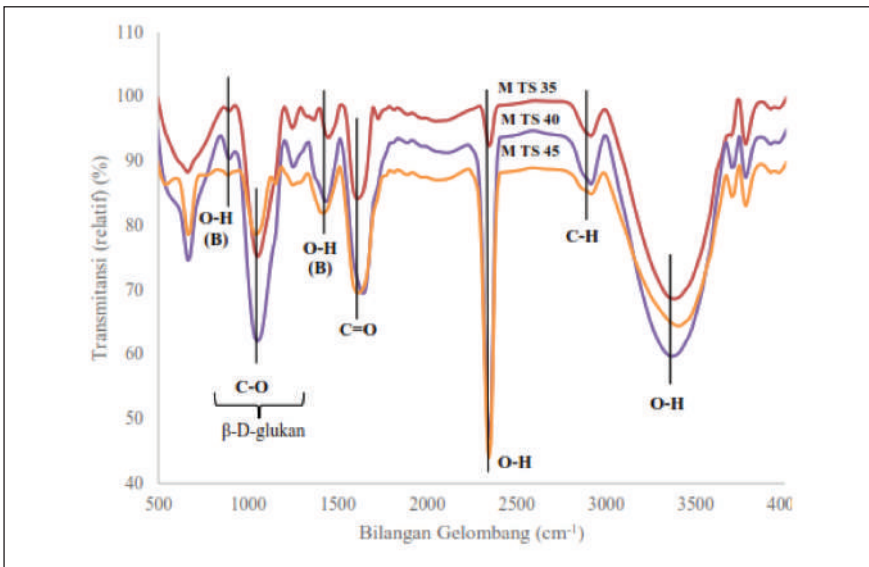
Kode	Keterangan
S35	Inkubasi jamur/miselium dengan desain drum sterilisasi menggunakan selongsong selama 35 hari
S40	Inkubasi jamur/miselium dengan desain drum sterilisasi menggunakan selongsong selama 40 hari
S45	Inkubasi jamur/miselium dengan desain drum sterilisasi menggunakan selongsong selama 45 hari
TS35	Inkubasi jamur/miselium dengan desain drum sterilisasi tanpa menggunakan selongsong selama 35 hari
TS40	Inkubasi jamur/miselium dengan desain drum sterilisasi tanpa menggunakan selongsong selama 40 hari
TS45	Inkubasi jamur/miselium dengan desain drum sterilisasi tanpa menggunakan selongsong selama 45 hari

4. Memindahkan *baglog* ke ruang inkubasi.
5. Setelah 35 hari, buka tutup *baglog* yang berlabel 35 hari.
6. Setelah 40 hari, buka tutup *baglog* yang berlabel 40 hari.
7. Setelah 45 hari, buka tutup *baglog* yang berlabel 45 hari.
8. Mengambil sampel miselium *baglog* dan jamur tiram saat panen pertama setiap tingkat waktu inkubasi.
9. Melakukan karakterisasi FTIR pada sampel.

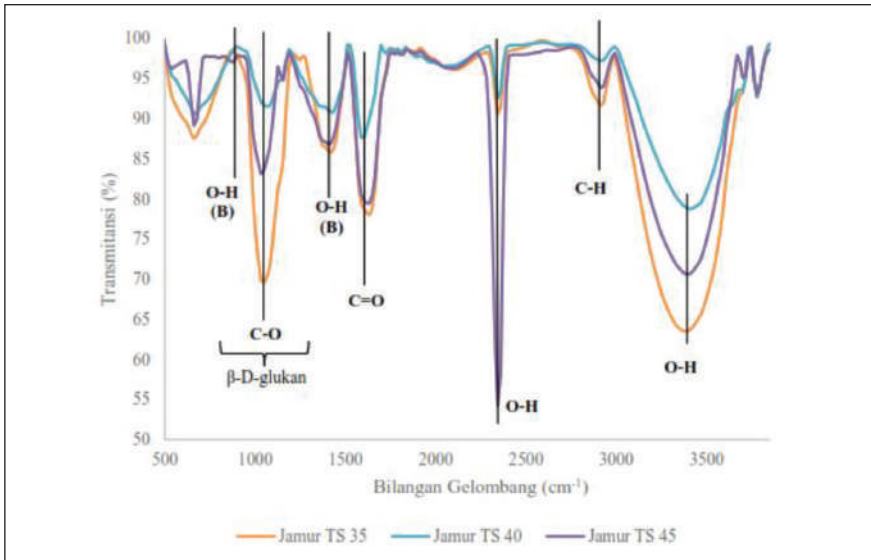
Berikut gambar hasil spektrum FTIR dari miselium dan jamur tiram.



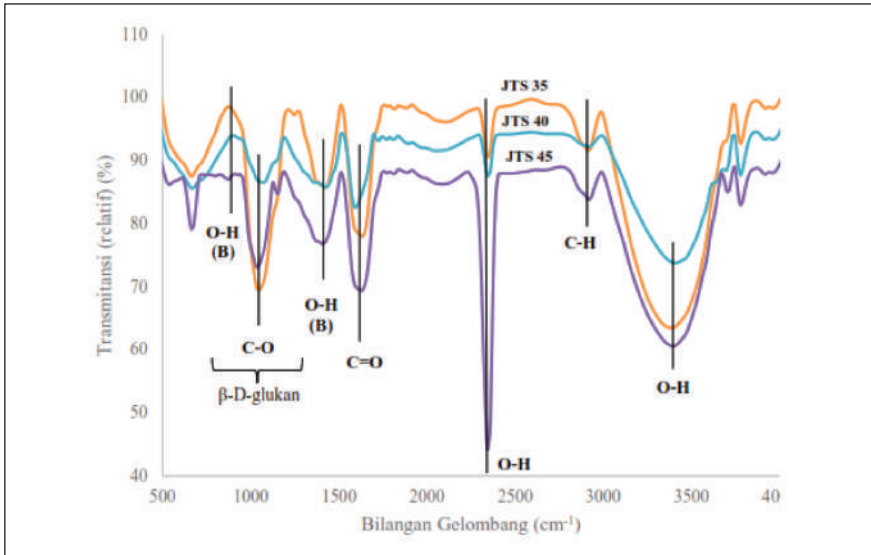
Gambar 5.4 Spektrum FTIR miselium desain drum tanpa selongsong (M TS) waktu inkubasi 35, 40, dan 45 hari



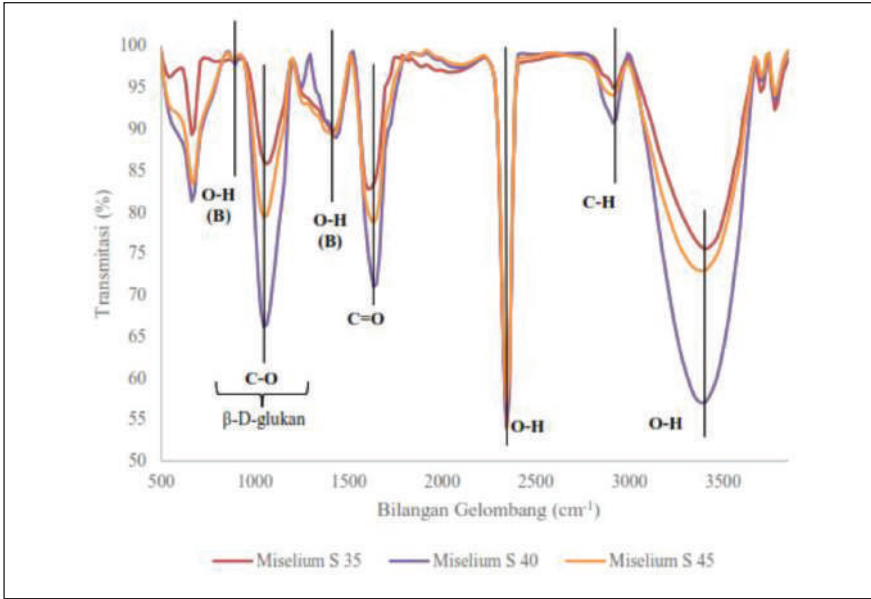
Gambar 5.5 Spektrum FTIR miselium desain drum tanpa selongsong (M TS) waktu inkubasi 35, 40, dan 45 hari dengan transmittansi relatif



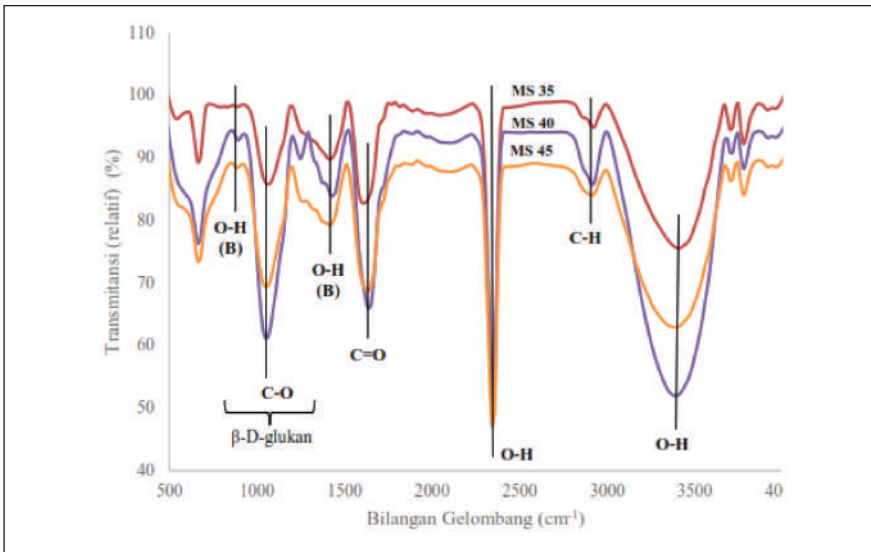
Gambar 5.6 Spektrum FTIR jamur tiram putih desain drum tanpa selongsong (J TS) waktu inkubasi 35, 40, dan 45 hari



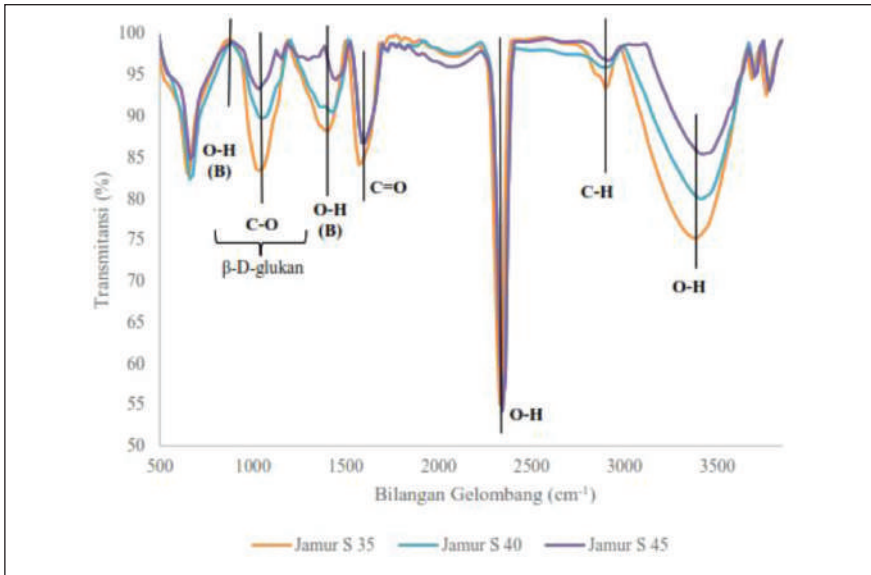
Gambar 5.7 Spektrum FTIR jamur tiram putih desain drum tanpa selongsong (J TS) waktu inkubasi 35, 40, dan 45 hari dengan transmitansi relatif



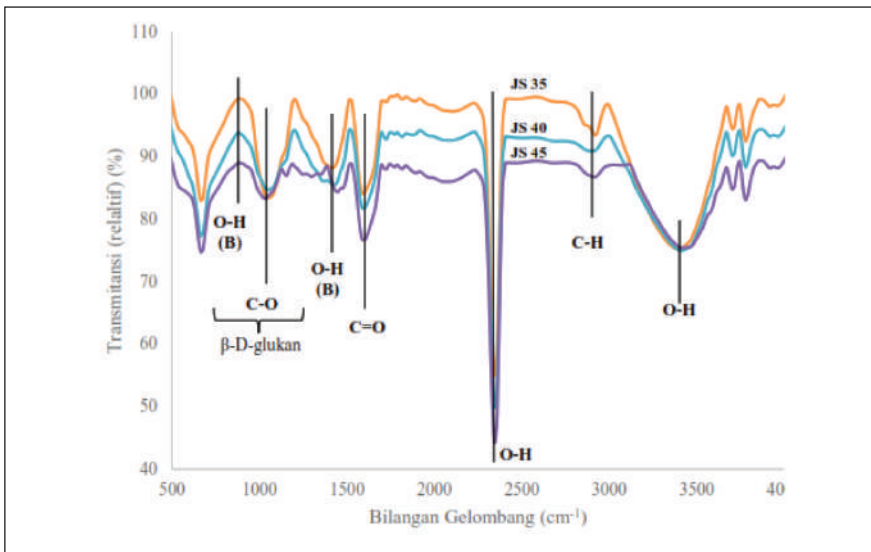
Gambar 5.8 Spektrum FTIR miselium desain drum menggunakan selongsong (MS) waktu inkubasi 35, 40, dan 45 hari



Gambar 5.9 Spektrum FTIR miselium desain drum menggunakan selongsong (M S) waktu inkubasi 35, 40, dan 45 hari dengan transmittansi relatif



Gambar 5.10 Spektrum FTIR jamur tiram putih desain drum menggunakan selongsong (J S) waktu inkubasi 35, 40, dan 45 hari



Gambar 5.11 Spektrum FTIR jamur tiram putih desain drum menggunakan selongsong (J S) waktu inkubasi 35, 40, dan 45 hari dengan transmitansi relatif

5.2.4 Sifat Fonon Optik pada Analisis Data *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dengan Metode Kramers-Kronig (KK)

Selain menentukan gugus fungsi, karakterisasi menggunakan alat FTIR dapat digunakan untuk menganalisis sifat fonon optik yang meliputi nilai TO (*Transversal Optics*) dan LO (*Longitudinal Optics*) dengan Metode Kramers-Kronig (KK). Hasil pengujian menggunakan alat FTIR menghasilkan data bilangan gelombang (ω) dan persen transmisi (%T). Selanjutnya dihitung nilai persentase reflektansi dan absorbansinya menggunakan dengan Metode Kramers-Kronig (KK) sesuai persamaan 5.1, 5.2:

$$A(\omega) = 2 - \log[T(\omega)\%] \quad (5.1)$$

$$R(\omega) = 100 - [T(\omega) + A(\omega)] \quad (5.2)$$

Data nilai persentase reflektansi dianalisis menggunakan relasi Kramers-Kronig (KK) untuk memperoleh nilai indeks bias nyata (n) dan indeks bias imajiner (k) menggunakan persamaan 5.3 dan 5.4:

$$n(\omega) = \frac{1 - R(\omega)}{1 - R(\omega) - 2\sqrt{R(\omega)} \cos \varphi(\omega)} \quad (5.3)$$

$$k(\omega) = \frac{2\sqrt{R(\omega)} \sin \varphi(\omega)}{1 + R(\omega) - 2\sqrt{R(\omega)} \cos \varphi(\omega)} \quad (5.4)$$

Di mana φ merupakan perubahan fasa yang menunjukkan refleksi foton setelah mengenai sampel. Nilai φ dihitung menggunakan persamaan 5.5:

$$\varphi(\omega) = -\frac{\omega}{\pi} \int_{\infty}^0 \frac{\ln R(w') - \ln R(\omega)}{w'^2 - \omega^2} \quad (5.5)$$

Persamaan (5) disederhanakan menggunakan relasi KK, sehingga menjadi persamaan 5.6:

$$\varphi(\omega_j) = -\frac{4\omega_j}{\pi} \Delta\omega \sum \frac{\ln(\sqrt{R(\omega)})}{\omega_i^2 - \omega_j^2} \quad (5.6)$$

Nilai merupakan nilai bilangan gelombang pada deret genap, sedangkan merupakan nilai bilangan gelombang pada deret ganjil. Sementara nilai merupakan selisih bilangan gelombang ω_i dengan ω_{i+1} .

Setelah dihitung dan disederhanakan dengan relasi KK, diperoleh hasil dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Grafik nilai indeks bias n dan k dari jamur dan miselium

Kode	Miselium	Jamur
S35		
S40		
S45		
TS35		
TS40		
TS45		

Tabel 5.2 menunjukkan grafik untuk jamur dan miselium dengan masing-masing kodenya. Setiap grafik memiliki perpotongan (intersep) pada bilangan gelombang tertentu yang menunjukkan nilai TO dan LO masing-masing perlakuan. Nilai TO ditunjukkan oleh perpotongan grafik pada bilangan gelombang yang lebih rendah, sedangkan nilai LO ditunjukkan oleh perpotongan grafik pada bilangan gelombang yang lebih tinggi. Sampel jamur maupun miselium pada perlakuan inkubasi dengan desain drum sterilisasi menggunakan selongsong memiliki nilai TO dan LO pada kisaran bilangan gelombang 832–900 cm^{-1} . Sementara pada perlakuan tanpa menggunakan selongsong memiliki nilai TO dan LO pada kisaran bilangan gelombang 1300–2600 cm^{-1} .

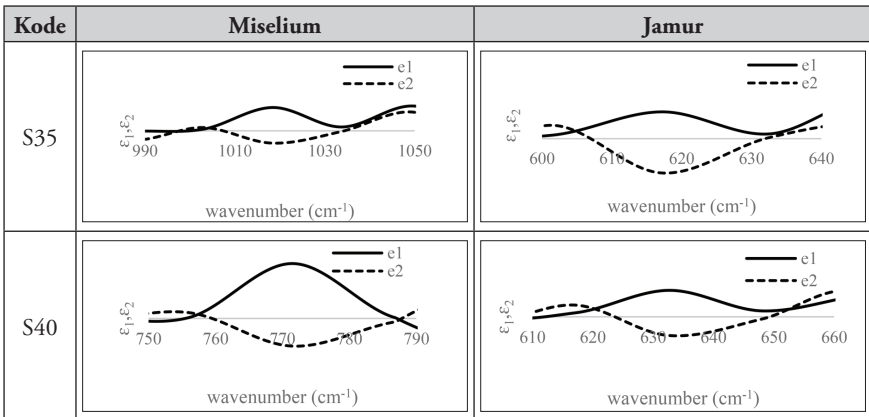
Variabel lain yang dapat dihitung dari data FTIR menggunakan relasi KK yaitu fungsi dielektrik nyata (ϵ_1) dan fungsi dielektrik imajiner (ϵ_2) menggunakan persamaan 5.7 dan 5.8:

$$\epsilon_1(\omega) = n^2(\omega) - k^2(\omega) \tag{5.7}$$

$$\epsilon_2(\omega) = 2n(\omega)k(\omega) \tag{5.8}$$

Pada sebuah lapisan permukaannya terjadinya pemutusan ikatan atom dan terbentuknya ikatan struktur baru diindikasikan dengan fungsi dielektrik yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 5.3 Fungsi dielektrik dari sampel jamur dan miselium pada masing-masing waktu inkubasi



Tabel 5.3 Fungsi dielektrik dari sampel jamur dan miselium pada masing-masing waktu inkubasi (lanjutan)

Kode	Miselium	Jamur
S45		
TS35		
TS40		
TS45		

Pola grafik untuk perlakuan jamur maupun miselium pada drum sterilisasi menggunakan selongsong berada pada rentang bilangan gelombang 530–1050 cm^{-1} . Sementara pada perlakuan pada drum sterilisasi tanpa menggunakan selongsong berada pada kisaran bilangan gelombang 510–830 cm^{-1} .

Selain nilai indeks bias dan fungsi dielektrik, juga dapat diketahui nilai *dielectric loss* ($\tan \delta$) menggunakan persamaan 5.9:

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \quad (5.9)$$

Data hasil *dielectric loss* pada masing-masing perlakuan sampel ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 5.4 Fungsi dielektrik dari sampel jamur dan miselium pada masing-masing waktu inkubasi

Kode	Miselium	Jamur
S35		
S40		
S45		
TS35		
TS40		
TS45		

Daftar Pustaka

- Andriy S, Katerina M, Alla S, Ivan J, Jiri S, Vladimir E, Eliska K, Jana C. 2009. Glucans from fruit bodies of cultivated mushrooms *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii*: Structure and potential prebiotic activity. *Carbohydrate Polymers* 76: 548–556.
- Budijanto S, Yuliyanti. 2012. Studi persiapan tepung sorgum (*Sorghum bicolor L. Moench*) dan aplikasinya pada pembuatan beras analog. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 13(3): 177–186.
- Casnan, Irzaman, P Untoro. 2011. Efisiensi Energi dari Tungku Sekam dengan Kompor Bahan Bakar Campuran Air, Minyak, dan Gas Karbon (Asap) dengan Metode Kavitasasi. *Pertemuan ilmiah XXF HFI Jateng & DIY 2011*.
- Desna, RD Puspita, H Darmasetiawan, Irzaman, Siswadi. 2010. Kajian proses sterilisasi media jamur tiram putih terhadap mutu bibit yang dihasilkan. *Berkala Fisika*. 13(2): 45–48.
- F Nawafi, RD Puspita, Desna, Irzaman. 2010. Optimasi tungku sekam skala industri kecil dengan sistem boiler. *Berkala Fisika*. 12(3): 77–84.
- Gusnimar. 2011. Pengaruh Penambahan Dedak dan Lama Pelapukan Media Limbah Industri Teh Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Jamur Tiram Putih (*Pleurotus istreatus L.*) [skripsi]. Padang: Universitas Andalas.
- Husin AJ, Irzaman, Juansah J, Umrih T, Hendranto KP, Rahmadani E, Effendy S. 2012. Efisiensi energi bahan bakar sekam dan kayu pada proses sterilisasi media tumbuh jamur tiram putih. *JUPI*. 17(2): 65–69.
- Irwansyah RF, Umam R, Suhaeli KM, Irzaman, Irmansyah. 2014. Distribusi Temperatur di Dalam Drum untuk Sterilisasi Jamur Tiram. *Seminar dan Rapat Tahunan (Semirata) Bidang MIPA*. 2014 Mei 9–11. Bogor: IPB Press.
- Irzaman, Casnan, Untoro P. 2011. Pemanfaatan Gas Karbon Tungku Sekam untuk Pengembangan Kompor dengan Bahan Bakar Campuran Air dan Bahan Bakar Nabati dengan Metode Kavitasasi. *Prosiding pertemuan ilmiah XXF HFI Jateng & DIY 2011*.

- M Rifki, Irzaman, H Alatas. 2008. Optimasi Efisiensi Tungku Sekam dengan Ventilasi Lubang Utama pada Badan Kompor. *Seminar Nasional Sains II, FMIPA IPB Bogor*. 2008 Oktober. Hlm 151–161.
- MA Nur, Adijuwana H. 1989. Teknik Spektroskopi dalam Analisis Biologis. Bogor: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Pusat Antar Universitas Ilmu Hayat Institut Pertanian Bogor.
- Noor I. 2010. Isolasi dan Karakterisasi β -glukan dari Tubuh Buah Jamur Tiram Putih (*Pleurotus ostreatus*) dengan Metode Spektroskopi UV-Visibel dan FTIR [skripsi]. Jakarta: Universitas Syarif Hidayatullah.
- Patabang D. 2012. Karakteristik termal briket arang sekam padi dengan variasi bahan perekat. *Jurnal Mekanikal*. 3(2): 286–292.
- Priyadi UT. 2013. *Bisnis Jamur Tiram*. Jakarta: Agromedia.
- RD Puspita, Desna, AD Husin, Irzaman, H Darmasetiawan, Siswadi. 2010. Tungku sekam sebagai bahan bakar alternatif pada sterilisasi media jamur tiram. *Berkala Fisika*. 13(2): C45–C48.
- RM Silverstein, GC Bassler, TC Morrill. c1981. *Spectrometric identification of organic compounds*. Ed ke-4. New York: John Willey & Sons.
- Suhaeli KM. 2014. Analisis Efisiensi Energi Termal Tungku Berbahan Bakar *Baglog* Jamur Tiram dan Sekam Padi [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Suhaeli KM, Umam R, Irwansyah RF, Irzaman, Irmansyah. 2014. Analisis Efisiensi Energi Termal Tungku Berbahan Bakar *Baglog* Jamur Tiram dan Sekam Padi. *Seminar dan Rapat Tahunan (Semirata) Bidang MIPA*. 2014 Mei 9–11. Bogor: IPB Press.
- Sunitra E. 2013. Eksperimental pembuatan tungku bahan bakar sekam gabah untuk mendapatkan temperatur aliran udara pengeringan gabah yang optimal. *Jurnal Teknik Mesin*. 3(2): 13–21.
- Tahir D, Ilyas S, Rahmat R, Heryanto H, Fahri AN, Rahmi MH, Abdullah B, Hong CC, Kang HJ. Enhanced visible-light absorption of Fe_2O_3 covered by activated carbon for multifunctional purposes: Tuning the structural, electronic, optical, and magnetic properties. *ACS Omega*. 6: 28334–28346.2021.

- Umrih T. 2012. Analisis Efisiensi Energi Bahan Bakar Sekam dan Kayu Sengon pada Proses Sterilisasi Media Tumbuh Jamur Tiram Putih [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Umum R, Irwansyah RF, Suhaeli KM, Irzaman, Arif A. 2014. Optimasi Sebaran Panas Pada Sterilisasi Jamur Tiram Putih Menggunakan Satu Pipa Konveksi *Seminar dan Rapat Tahunan (Semirata) Bidang MIPA*. 2014 Mei 9–11. Bogor: IPB Press.



Tungku Sekam IPB

Cara Pembuatan, Cara Pemakaian, Analisis Efisiensi Energi, dan Penerapannya pada Sterilisasi Media Tanam Jamur Tiram



PT Penerbit IPB Press

Jalan Taman Kencana No. 3, Bogor 16128

Telp. 0251-8355 158 E-mail: ipbpress@apps.ipb.ac.id



Penerbit IPB Press



[ipbpress.official](https://www.instagram.com/ipbpress.official)



ipbpress.com

Teknologi

ISBN : 978-623-467-731-7



9 786234 677317 >