

**ANALISIS KEHILANGAN ENERGI (*ENERGY LOSSES*) PADA PROSES  
PEMBUATAN ARANG SEKAM PADI MENGGUNAKAN ALAT  
BIOCHAR**

**SKRIPSI**



**OLEH :  
ASMAWATI  
C1J009008**

**FAKULTAS TEKNOLOGI PANGAN DAN AGROINDUSTRI  
UNIVERSITAS MATARAM  
2017**

**ANALISIS KEHILANGAN ENERGI (*ENERGY LOSSES*) PADA PROSES  
PEMBUATAN ARANG SEKAM PADI MENGGUNAKAN ALAT  
BIOCHAR**

**OLEH :  
ASMAWATI  
C1J009008**

**Skripsi Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknologi Pertanian Pada Fakultas  
Teknologi Pangan dan Agroindustri  
Universitas Mataram**

**FAKULTAS TEKNOLOGI PANGAN DAN AGROINDUSTRI  
UNIVERSITAS MATARAM**

**2016**

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Kehilangan Energi (*Energy Losses*)  
: Pada Proses Pembuatan Arang Sekam Padi  
Menggunakan Alat Biochar  
NamaMahasiswa : Asmawati  
NomerMahasiswa : C1J 009 008  
Program Studi : TeknikPertanian  
Fakultas : TeknologiPangan Dan Agroindustri

Telah di pertahankan pada tanggal 27 februari 2017 di depan tim pemguji:

**Dr. Eng. Sukmawaty, S.TP., M. Si.**  
**Murad, S.P., M.P.**  
**Guyup Mahardian Dwi Putra, S.TP., MP.**

PembimbingI

(Dr. Eng. Sukmawaty, S.TP., M. Si.)  
NIP. 196812141996022001

PembimbingII

(Murad, S.P., M.P.)  
NIP: 197512312008011023

Mengetahui:



Program Studi Teknik Pertanian  
Fak. Teknologi Pangan dan Agroindustri  
Dekan Ketua  
  
(Prof. Ir. Sri Widyastuti, M.App.,Sc.Ph.D.)  
NIP. 19601201 198603 2 001



Program Studi Teknik Pertanian  
  
(Dr. Eng. Sukmawaty, S.TP., M. Si.)  
NIP. 19681214 199602 2 001

Tanggal Pengesahan : **28 FEB 2017**

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam sekeripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesejarnaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya tau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis di acu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka

Mataram, Februari 2017

Yang menyatakan,



Asrihawati  
NIM. C1J009008

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Analisis Kehilangan Energi (*Energy Losses*) Pada Proses Pembuatan Arang Sekam Padi Menggunakan Alat Biochar”**.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan saran, bantuan, dan masukan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Prof. Ir. Sri Widiastuti, M.App.Sc.,Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri Universitas Mataram.
2. Ibu Dr. Eng. Sukmawaty, S.TP., M. Si. selaku Dosen Pembimbing I.
3. Bapak Murad, S.P., M.P.selaku Dosen Pembimbing II.
4. Bapak Rahmat Sabani S.,TP.M.P., selaku Dosen Penasehat Akademik
5. Kedua Orang tua, bapak Badarudin dan Ibu Suryati, kakak Sulastri Mulyana dan adik Ahmad Subandi Azmi serta Abang Azwan Nopi yang telah memberikan do'a, semangat dorongan dan bantuan baik secara materil maupun spiritual.
6. Semua teman-temanku ( iwin, ozy, pyan, awal, opan, ali, imam, tya, ita, uchi, gustini, ufa, dian, dewi, mbak dewi dan teman-teman TP'08, TP'09 dan Tp'10 yang tidak dapat disebutkan namanya satu per satu) terima kasih atas bantuan dan kebersamaannya selama ini.

Penulis menyadari penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun. Semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi penulis dan juga pihak-pihak yang membutuhkan.

Mataram, 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDU</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENJELASAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>SURAT PERNYTAAN KEASLIAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1.Latar Belakang.....	1
1.2.Tujuan Penelitian.....	2
1.3.Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Pembuatan Arang.....	4
2.2. Sekam Padi.....	5
2.3. Biochar.....	5
2.4. Perpindahan Panas.....	6
2.4.1. Konduksi.....	7
2.4.2. Konveksi.....	8
2.4.3. Radiasi.....	9
2.5. Mekanisme Kerja Alat Biochar Killn Drum.....	10
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1. Waktu Dan Tempat Penelitian.....	12
3.2. Pelaksanaan Penelitian.....	12
3.2.1. Bahan Penelitian.....	12
3.2.2. Alat Penelitian.....	12
3.3.3. Prosedur Penelitian.....	14
3.3.4. Cara Pengamatan dan Parameter Pengukuran.....	14
3.5. Diagram Alir Penelitian.....	17
3.6. Analisis Data.....	18

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1. Perpindahan Panas Selama proses pembakaran.....	20
4.1. Perbandingan Suhu Pada Tiap Titik Pengukuran Dengan Jumlah Kapasitas SekamPadi Yang Berbeda.....	21
4.2. Kehilangan Energi Terhadap Waktu Pembakaran. ....	24
4.3 Rendemen.....	28

## **BAB V KESIMPULAN**

6.1.Kesimpulan. ....	29
6.2. Saran.....	29

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
Table 1.Konduktivitas Thermal Berbagai Bahan.....	8



## DAFTAR GAMBAR

### Halaman

Gambar 1. Konsep Dasar Pirolisis Temperatur rendah pada Pembuatan Biocar...5	
Gambar 1. Sketsa biochar drum kiln.....	14
Gambar 2. Diagram alir penelitian.....	18
Gambar 4. Hasil pembakaran sekam padi dengan massa 10 kg.....	20
Gambar 5. Hasil pembakaran sekam padi dengan massa 15 kg.....	21
Gambar 6. Hasil pembakaran sekam padi dengan massa 22 kg.....	21
Gambar 7. Grafik Perbandingan Suhu pada Tiap Titik Ukur dengan Berat bahan 10 kg.....	22
Gambar 8. Grafik Perbandingan Suhu pada Tiap Titik Ukur dengan Berat bahan 15 kg.....	23
Gambar 9. Grafik Perbandingan Suhu pada Tiap Titik Ukur dengan Berat bahan 22 kg.....	23
Gambar 10. Grafik Kehilangan energi terhadap waktu dengan menggunakan berat 10 kg.....	25
Gambar 11. Grafik Kehilangan energi terhadap waktu dengan menggunakan berat 15 kg.....	26
Gambar 12. Grafik Kehilangan energi terhadap waktu dengan menggunakan berat 22 kg.....	27

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Menghitung Parameter
- Lampiran 2. Data Pengambilan Suhu Menggunakan Massa 10 kg
- Lampiran 3. Data Pengambilan Suhu Menggunakan Massa 15 kg
- Lampiran 4. Data Pengambilan Suhu Menggunakan Massa 22 kg
- Lampiran 5. Hasil Perhitungan Analisis Kehilangan Energi Menggunakan Massa  
10 kg
- Lampiran 6. Hasil Perhitungan Analisis Kehilangan Energi Menggunakan Massa  
15 kg
- Lampiran 7. Hasil Perhitungan Analisis Kehilangan Energi Menggunakan Massa  
22 kg
- Lampiran 8. Hasil Rendemen Alat Biochar
- Lampiran 9. Foto –foto Kegiatan
- Lampiran 10. Contoh Data Hasil Perhitungan Kehilangan Energi Dengan Massa  
10 kg
- Lampiran 11. Contoh Data Hasil Perhitungan Kehilangan Energi Dengan Massa  
15 kg
- Lampiran 12. Contoh Data Hasil Perhitungan Kehilangan Energi Dengan Massa  
22 kg

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Pertanian merupakan sektor yang masih luas terhampar di wilayah Indonesia. Gencarnya pembangunan di sektor industri dan pemukiman penduduk belum mampu menggeser sektor pertanian sebagai icon Indonesia yang terkenal sebagai negara agraris. Pembangunan pertanian saat ini telah mencapai pengembangan agribisnis dan agroindustri. Pengembangan tersebut telah mendorong pertumbuhan sektor pertanian tetap terjadi peningkatan.

Usaha untuk meningkatkan hasil pertanian sampai saat ini masih dilakukan untuk memenuhi kebutuhan manusia yang semakin meningkat. Di lain pihak, lahan pertanian semakin berkurang kapasitasnya dalam mendukung pemenuhan hara bagi tanaman. Selain itu, kondisi alam yang tidak menentu akibat dari pemanasan global membuat usaha-usaha pertanian perlu mencari suatu teknologi yang dapat menghadapi hal tersebut. Salah satu teknologi tersebut adalah teknologi “Biochar” yang merupakan teknologi kuno yang dimunculkan kembali.

Biochar atau yang lebih kita kenal sebagai arang merupakan materi padat yang terbentuk dari karbonisasi biomassa. Biochar dapat ditambahkan ke tanah dengan tujuan untuk meningkatkan fungsi tanah dan mengurangi emisi dari biomassa yang secara alami terurai menjadi gas rumah kaca. Biochar juga mempunyai fungsi untuk mengikat karbon cukup besar.

Menurut Bambang (2012), Bahan baku pembuatan biochar umumnya adalah residu biomasa pertanian atau kehutanan, termasuk potongan kayu, tempurung kelapa, tandan kelapa sawit, tongkol jagung, sekam padi, atau kulit buah kacang-kacangan, kulit-kulit kayu, sisa-sisa usaha perkayuan, serta bahan organik yang berasal dari sampah kertas, sampah kota dan kotoran hewan. Bila limbah tersebut mengalami pembakaran dalam keadaan oksigen yang rendah atau tanpa oksigen akan dihasilkan 3 substansi, yaitu; metana dan hidrogen yang dapat

dijadikan bahan bakar, bio-oil yang dapat diperbaharui, dan arang hayati (biochar) yang mempunyai sifat stabil dan kaya karbon. Pada saat ini residu tanaman paling potensial untuk pembuatan biochar adalah sekam padi.

Arang adalah suatu bahan padat berpori yang dihasilkan dari pembakaran pada suhu tinggi dengan proses karbonisasi, yaitu proses pembakaran tidak sempurna, sehingga bahan hanya terkarbonisasi dan tidak teroksidasi. Sebagian besar pori - pori pada arang masih tertutup dengan hidrokarbon, dan senyawa organik lainnya (Arsyhar, 2011).

Menurut Iskandar dan Kresno (2005) proses pembuatan biochar/arang dimulai dengan memasukkan limbah pertanian (sekam padi, kulit buah kakao dll.) kedalam pirolisator yang terlebih dahulu dipasang rongga-rongga , dimasukkan kayu bakar atau bahan lainnya, lalu dibakar hingga membara. Rongga-rongga tersebut berfungsi agar proses pembakaran dapat berlangsung merata. Suhu dikontrol melalui termometer yang dipasang dibagian ujung dan tengah alat. Apabila suhu telah mencapai lebih dari 150<sup>0</sup>C, pirolisator ditutup. Apabila asap mulai keluar melalui cerobong, berarti pembakaran sudah berjalan dengan baik. Setelah 2-3,5 jam dan sudah tidak banyak mengeluarkan asap lagi, arang dikeluarkan dan langsung disemprot air agar tidak menjadi abu atau tidak terjadi pembakaran sempurna. Selanjutnya arang dijemur, digiling, dan siap untuk diaplikasikan ke lahan pertanian Proses pembuatan arang dari limbah sekam padi yang membutuhkan suhu tinggi serta lama tersebut sangat penting untuk diketahui dan dianalisa jumlah potensi kehilangan energinya (*energy losses*) . Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang Analisis Kehilangan Energi (*energy losses*) Pada Proses Pembuatan Arang Sekam Padi Menggunakan Alat Biochar.

## **1.2. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui jumlah energi yang hilang melalui permukaan dinding pada alat biochar.
2. Menghitung dan menganalisis potensi energi yang hilang pada tiap titik pengukuran selama proses pembuatan arang menggunakan alat biochar.

### **1.3. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu untuk dapat menyimpulkan hasil analisa jumlah potensi kehilangan energi (*energy losses*) yang masih bisa dimanfaatkan melalui data hasil pengamatan dan perhitungan

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Pembuatan Arang**

Terkait dengan ide biochar, bila kayu dan limbah pertanian mengalami pembakaran dalam keadaan tanpa oksigen akan dihasilkan tiga substansi, yaitu; *bio-gas* dan hidrogen, keduanya dapat dijadikan bahan bakar hayati; *bio-oil* yang dapat diperbaharui; dan arang (*char*) yang sebagian besar terdiri atas kandungan karbon bahan dasar yang digunakan. Biochar dapat dihasilkan dari sistem pirolisis atau gasifikasi. Pada sistem pirolisis, biochar yang dihasilkan sebagian besar dalam keadaan tanpa oksigen dan paling sering dengan sumber panas dari luar, sedangkan pada sistem gasifikasi hanya sedikit biochar yang dihasilkan. Produksi biochar yang optimal adalah dalam keadaan tanpa oksigen (Yaman, 2004).

Biochar dibuat menggunakan proses pirolisis. Pirolisis adalah dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen lainnya, dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Pirolisis adalah kasus khusus termolisis. Pirolisis terbagi 2 yaitu (Septa, 2009) :

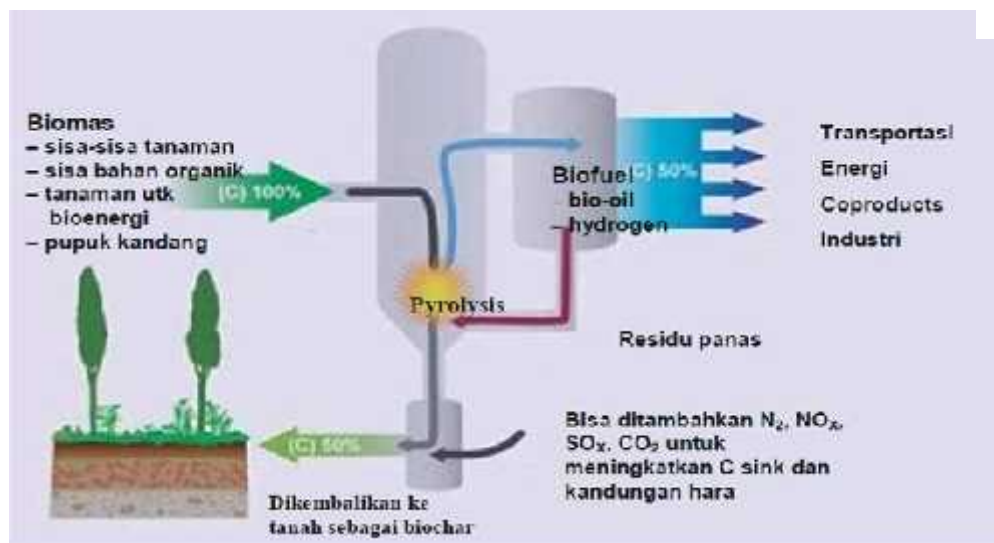
##### **1. Pirolisis primer**

Pirolisis primer adalah proses pembentukan arang yang terjadi pada suhu 150-300°C. Proses pengarangan ini terjadi karena adanya energi panas yang mendorong terjadinya oksidasi sehingga molekul karbon yang kompleks terurai sebagian besar menjadi karbon atau arang.

##### **2. Pirolisis sekunder**

Pirolisis sekunder adalah proses perubahan arang / karbon lebih lanjut menjadi karbon monoksida, gas hidrogen dan gas – gas hidrokarbon.

Bahan dasar yang digunakan dalam proses pirolisis dapat berupa berbagai jenis bentuk biomassa. Residu biomassa pertanian atau kehutanan, termasuk potongan kayu, tempurung kelapa, tongkol jagung, sekam padi, jerami padi, kulit buah kacang-kacangan, sisa-sisa usaha perkayuan, limbah industri tebu, sisa usaha penyulingan, dan bahan organik daur ulang lainnya ( Lehmann dan Rondon, 2006). Proses pirolisis dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 1. Konsep dasar pirolisis temperatur rendah pada pembuatan biochar (Lehman, 2007).

Pada kondisi produksi terkontrol, karbon di dalam biomassa diikat dalam biochar dengan hasil samping berupa bioenergi dan *bio-oil*. Secara teoritis, di dalam biochar akan tersimpan sampai 50% karbon bahan baku dalam bentuk struktur arang kayu yang *porous* (Lehmann 2007; Miles 2009); sedang sisanya akan terikat sebagai bioenergi dan *bio-oil*. Walaupun secara teknis tidak mungkin menangkap 100% biomassa karbon karena energi juga digunakan dan hilang dalam proses produksi, proses produksi biochar yang optimal dapat mengikat sebagian dari biomassa karbon dalam biochar dan sebagian sebagai bioenergi. Efisiensi konversi C dari biomassa menjadi biochar sangat bergantung pada tipe bahan dasar dan proses produksi.

Sistem produksi pirolisis dan gasifikasi dapat dijalankan melalui unit-unit yang mobil atau menetap. Sistem pirolisis dan gasifikasi skala kecil yang dapat digunakan di lapang atau industri kecil tersedia secara komersial dengan input

biomassa berkapasitas 50 kg/hari sampai 1.000 kg/hari. Bioenergi yang dihasilkan dari sistem ini dapat digunakan untuk menghasilkan panas, tenaga atau kombinasi tenaga dan panas. Pada tingkat lokal atau regional, unit-unit pirolisis dan gasifikasi dapat dioperasikan oleh koperasi atau industri besar, yang dapat memproses sampai 4.000 kg biomassa per jam.

## 2.2. Sekam Padi

Menurut Badan Pusat Statistik (2011), Indonesia memiliki sawah seluas 12,84 juta hektar yang menghasilkan padi sebanyak 65,75 juta ton. Limbah sekam padi yang dihasilkan sebanyak 8,2 sampai 10,9 ton. Potensi limbah yang besar ini hanya sedikit yang baru dioptimalkan. Secara tradisional, sekam padi biasanya hanya digunakan sebagai bahan bakar konvensional (Danarto, et al., 2010).

Sekam padi merupakan bagian pelindung terluar dari padi (*Oryza sativa*). Dari proses penggilingan dihasilkan sekam sebanyak 20-30%, dedak 8-12% dan beras giling 52% bobot awal gabah (Hsu dan Luh, 1980). Pada proses penggilingan padi, sekam akan terpisah dari butiran beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Karena bersifat abrasif, nilai nutrisi rendah, *bulk density* rendah, serta kandungan abu yang tinggi membuat penggunaan sekam padi terbatas. Diperlukan tempat penyimpanan sekam padi yang luas sehingga biasanya sekam padi dibakar untuk mengurangi volumenya. Jika hasil pembakaran sekam padi ini tidak digunakan, akan menimbulkan masalah lingkungan (Hsu dan Luh, 1980).

Salah satu proses alternatif untuk meningkatkan manfaat sekam padi adalah dengan pirolisis. Pirolisis merupakan proses dekomposisi suatu zat/material yang dilakukan pada suhu relatif tinggi. Hasil pirolisis sekam padi berupa *char* mengandung karbon dan silika dengan komposisi tergantung pada kondisi pirolisis (Danarto, et al., 2010).

Sekam padi mempunyai *bulk density* 96 sampai 160 kg/m<sup>3</sup>. Penggilingan sekam padi dapat meningkatkan *bulk density* dari 192 menjadi 384 kg/m<sup>3</sup> Dengan



pembakaran pada kondisi tertentu dapat menghasilkan abu sekam padi yang lebih mudah dihaluskan (Hsu dan Luh, 1980).

### **2.3. Biochar**

*Biochar* merupakan bahan pembenah tanah yang telah lama dikenal dalam bidang pertanian yang berguna untuk meningkatkan produktivitas tanah. Bahan utama untuk pembuatan *biochar* adalah limbah-limbah pertanian dan perkebunan seperti sekam padi, tempurung kelapa, kulit buah kakao, serta kayu-kayu yang berasal dari tanaman hutan industri. Teknik penggunaan *biochar* berasal dari basin Amazon sejak 2500 tahun yang lalu. Penduduk asli Indian memasukkan limbah-limbah pertanian dan perkebunan tersebut ke dalam suatu lubang di dalam tanah. Sebagai contoh yaitu "*Terra Preta*" yang sudah cukup dikenal di Brazil. Tanah ini terbentuk akibat proses perladangan berpindah dan kaya residu organik yang berasal dari sisa-sisa pembakaran kayu hutan (Glaser dkk., 2002).

Menurut Lehmann dan Joseph (2009), *biochar* diproduksi dari bahan-bahan organik yang sulit terdekomposisi, yang dibakar secara tidak sempurna (*pyrolysis*) atau tanpa oksigen pada suhu yang tinggi. Arang hayati yang terbentuk dari pembakaran ini akan menghasilkan karbon aktif, yang mengandung mineral seperti kalsium (Ca) atau magnesium (Mg) dan karbon anorganik. Kualitas senyawa organik yang terkandung dalam *biochar* tergantung pada asal bahan organik dan metode karbonisasi. Dengan kandungan senyawa organik dan inorganik yang terdapat di dalamnya, *biochar* banyak digunakan sebagai bahan amelioran untuk meningkatkan kualitas tanah, khususnya tanah marginal (Rondon dkk., 2007; Hunt dkk., 2010).

### **2.4. Perpindahan Panas**

Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai berpindahnya energi dari satu daerah ke daerah lainnya sebagai akibat dari beda suhu antara daerah-daerah tersebut dari temperatur fluida yang lebih tinggi ke fluida lain yang memiliki temperatur lebih rendah. Perpindahan panas pada umumnya dibedakan menjadi tiga cara perpindahan panas yang berbeda : konduksi (*conduction* ; juga dikenal

dengan istilah hantaran), konveksi (*convection* ; juga dikenal dengan istilah ilian), dan radiasi (*radiation* ; juga dikenal dengan istilah pancaran).

### 2.4.1. Konduksi

Konduksi adalah proses dengan mana panas mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam satu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Perpindahan kalor konduksi satu dimensi melalui padatan diatur oleh hukum Fourier, yang dalam bentuk satu dimensi dapat dinyatakan sebagai,

$$q = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (1)$$

dimana q adalah arus panas, k konduktivitas thermal bahan, A itu penampang luas untuk aliran panas, dan  $dT / dx$  gradien suhu, membutuhkan penyisipan tanda minus di persamaan (1) untuk menjamin panas positif aliran q (Bejan dan Kraus, 1948).

Nilai konduktivitas thermal suatu bahan menunjukkan laju perpindahan panas yang mengalir dalam suatu bahan. Konduktivitas thermal kebanyakan bahan merupakan fungsi suhu, dan bertambah sedikit kalau suhu naik, akan tetapi variasinya kecil dan sering kali diabaikan. Jika nilai konduktivitas thermal suatu bahan makin besar, maka makin besar juga panas yang mengalir melalui benda tersebut. Karena itu, bahan yang harga k-nya besar adalah penghantar panas yang baik, sedangkan bila k-nya kecil bahan itu kurang menghantar atau merupakan isolator. Nilai Konduktivitas thermal berbagai bahan diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Konduktivitas thermal berbagai bahan

<b>Bahan</b>	<b>k (W/m°C)</b>	<b>Bahan</b>	<b>k (W/m°C)</b>
<b>Logam</b>		<b>Bukan logam</b>	
Perak	410	Kuarsa	41,6
Tembaga	385	Magnesit	4,15
Alumunium	202	Marmar	2,08-2,94
Nikel	93	Batu pasir	1,83
Besi	73	Kaca, jendela	0,78
Baja karbon	43	Kayu	0,08
Timbal	35	Serbuk gergaji	0,059
Baja krom-nikel	14,3	Wol kaca	0,038
Emas	314	Karet	0,2
Seng	116	polystyrene	0,157
		Polyethyrene	0,33
		Polypropylene	0,16
		polyvinylchlorida	0,9
		Kertas	0,166
<b>Zat Cair</b>		<b>Gas</b>	

Air raksa	8,21	Hidrogen	0,175
Air	0,556	Helium	0,141
Amonia	0,540	Udara	0,024
Minyak lumas SAE 50	0,147	Uap air jenuh	0,0206
Freon	0,73	karbondioksida	0,0146

Sumber : repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/19803/4/Chapter%20II.pdf

#### 2.4.2. Konveksi

Konveksi merupakan perpindahan panas antara permukaan solid dan berdekatan dengan fluida yang bergerak atau mengalir dan itu melibatkan pengaruh konduksi dan aliran fluida. Contoh: sebuah plat besi panas akan lebih cepat dingin jika diletakkan di depan kipas angin dibandingkan dengan jika diletakkan begitu saja di udara terbuka. Laju perpindahan panas dengan cara konveksi antara suatu permukaan dan suatu fluida dapat dihitung dengan hubungan :

$$q = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty) \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

h = koefisien perpindahan panas konveksi (W/m<sup>2</sup>C)

A = luas penampang (m<sup>2</sup>)

T<sub>s</sub> = temperatur plat (°C)

T = temperatur fluida yang mengalir dekat permukaan (°C)

Perpindahan panas konveksi diklasifikasikan dalam konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*) menurut cara menggerakkan alirannya. Konveksi alami adalah perpindahan panas yang disebabkan oleh beda suhu dan beda rapat saja dan tidak ada tenaga dari luar yang mendorongnya.. Contoh konveksi alamiah antara lain aliran fluida yang melintasi radiator panas. Konveksi paksa adalah perpindahan panas aliran gas atau cairan yang disebabkan adanya tenaga dari luar. Konveksi paksa dapat pula terjadi karena arus fluida yang terjadi digerakkan oleh suatu peralatan mekanik (contoh : pompa dan pengaduk), jadi arus fluida tidak hanya tergantung pada perbedaan densitas. Contoh

perpindahan panas secara konveksi paksa adalah pelat panas dihembus udara dengan kipas/blower ( Holman, 1984).

### 2.4.3. Radiasi

Radiasi, merupakan perpindahan energi karena emisi gelombang elektromagnet (atau photons). Contoh: kehangatan sewaktu kita berada di dekat api unggun. Faktor-faktor yang mempengaruhi laju perpindahan kalor secara radiasi :

1. Tetapan Stefan Boltzmann
2. Luas permukaan A, makin besar luas permukaan makin cepat perpindahan kalor
3. Suhu, makin besar beda suhu makin cepat perpindahan kalor
4. Emisivit

Persamaan laju perpindahan panas secara radiasi adalah (Holman, 1984):

$$q = \epsilon \cdot A \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_{sur}^4) \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :  $\epsilon$  = emisivitas sifat radiasi pada permukaan

A = luas permukaan (m<sup>2</sup>)

$\sigma$  = konstanta Stefan-Boltzman (5,67.108W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>)

T<sub>s</sub><sup>4</sup> = temperatur absolute permukaan (°K<sup>4</sup>)

T<sub>sur</sub><sup>4</sup> = temperatur sekitar (°K<sup>4</sup>)

( $\epsilon$  bernilai 1 untuk benda hitam sempurna, dan bernilai 0 untuk benda tidak hitam sama sekali. Pengertian benda hitam sempurna disini adalah benda yang memiliki kemampuan menyerap semua kalor yang tiba padanya, atau mampu memancarkan seluruh energi yang dimilikinya) (Anonim, 2016).

### 2.5. Mekanisme Kerja Alat Biochar Kiln Drum

Teknologi pembuatan arang dengan *kiln* drum adalah suatu metode pembuatan arang yang murah dan sederhana tetapi dapat menghasilkan rendemen dan kualitas arang yang cukup tinggi. Ruang pengarang yang berbentuk drum/silinder pembakaran digunakan untuk pirolisis atau pembakaran secara tidak

sempurna. Sehingga pembakaran terhenti sampai pembentukan molekul karbon atau arang. (Anonim, 2016)

Silinder pembakaran yang disebut kiln merupakan alat khusus untuk pirolisis. Kiln sederhana terbuat dari drum bekas. Pirolisis berlangsung di dalam drum dengan membatasi pasokan udara terhadap bahan yang sedang dibakar. Pasokan udara diberikan melalui lubang udara pada badan drum. Pada awal pembakaran, lubang udara ditutup segera setelah seluruh bahan terbakar, lubang udara ditutup untuk mengurangi pasokan oksigen. Panas dari pembakaran sebelumnya pada kondisi kekurangan oksigen sudah cukup untuk pirolisis (Ekalinda, 2016).

Dengan metode drum, karbonisasi dapat diamati dan diawasi melalui pengatur udara masuk dan tidak tergantung dari cuaca pada saat itu. Karbonisasi biomassa atau yang lebih dikenal dengan pengarangan adalah suatu proses untuk menaikkan nilai kalor biomassa dan dihasilkan pembakaran yang bersih dengan sedikit asap. Hasil karbonisasi adalah berupa arang yang tersusun atas karbon dan berwarna hitam. Prinsip proses karbonisasi adalah pembakaran biomassa tanpa adanya kehadiran oksigen. Sehingga yang terlepas hanya bagian *volatile matter* (zat terbang), sedangkan karbonnya tetap tinggal di dalamnya. Temperatur karbonisasi akan sangat berpengaruh terhadap arang yang dihasilkan sehingga penentuan temperatur yang tepat akan menentukan kualitas arang yang dihasilkan (Tobing, dkk 2008).

## **BAB III METODELOGI PENELITIAN**

### **3.1. Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini telah dilaksanakan pada tanggal 28 September sampai tanggal 12 Oktober 2016 di Laboratorium Daya dan Mesin dalam Bidang Pertanian Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri.

### **3.2. Metode Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dilakukan dengan percobaan langsung di lapangan, yaitu dengan mencoba langsung proses pembuatan arang sekam padi menggunakan alat biochar kemudian menganalisis

proses pindah panas yang terjadi baik secara konduksi dan secara konveksi dengan mengabaikan perpindahan panas secara radiasinya.

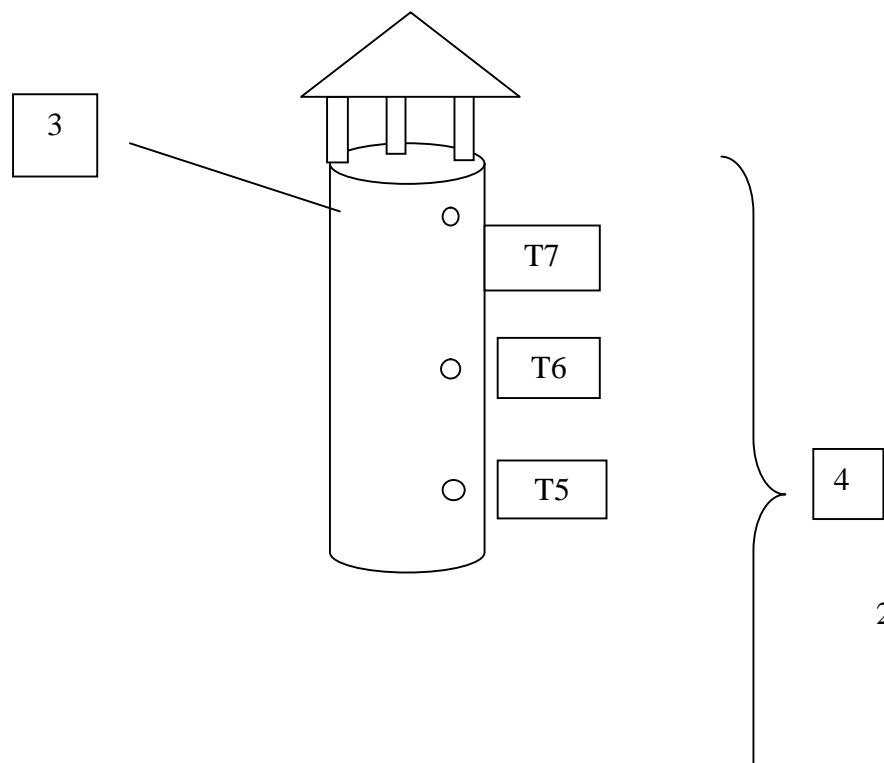
### 3.3. Pelaksanaan Penelitian

#### 3.3.1. Bahan-bahan Penelitian

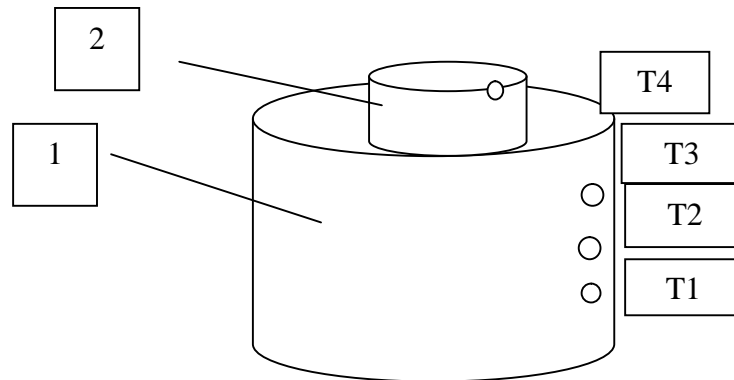
Adapun bahan yang digunakan adalah limbah sekam padi, minyak tanah dan korek api.

#### 3.3.2. Alat- alat penelitian

Alat-alat yang digunakan antarlain : *thermodigital*, *thermocouple* timbangan berat, jangka sorong dan set alat biochar killn modifikasi (desain M. Saufiandi) yang terbuat dari drum bekas.







**Gambar 2. Sketsa biochar drum kiln (Desain M. Saupiandi)**

Keterangan gambar :

1. Bak tangki penampung bahan (berdiameter 0,5 meter, jari-jari 0,25 meter dan tinggi tabung 1 meter)
2. Tutup bak penampung
3. Tabung cerobong asap
4. Letak titik ukur :
  - a. Titik ukur 1 (T1), Titik ukur 2 (T2) , dan Titik ukur 3 (T3) terletak pada bagian bak tangki penampung bahan (bagian bawah).
  - b. Titik ukur 4 (T4) pada tutup bak tangki penampung bahan (bagian tengah).
  - c. Titik ukur 5 (T5), Titik ukur 6 (T6), dan Titik ukur 7 (T7) terletak pada bagian tabung cerobong asap (bagian atas).

### **Prosedur Penelitian**

Dalam penelitian ini ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan antara lain yaitu :

1. Disiapkan set alat biochar yang terdiri dari bagian bawah berupa bak tangki penampung bahan yang telah dilubangi bagian bawahnya, tempat meletakkan sekam padi, bagian tengah berupa tutup bak penampung bahan dan bagian atas berupa penutup yang terdapat tabung cerobong tempat keluarnya asap pembakaran.
2. Ditimbang bahan baku berupa sekam padi seberat 10 kg, 15 kg dan 22 kg..

3. Dimasukkan sekam padi ke dalam bak tangki penampung dan dilakukan pembakaran dari atas.
4. Dipasang tutup cerobong asap.
5. Dilakukan pemasangan alat berupa *thermodigital* dan *thermocouple* pada tiap titik pengukuran suhu pada dinding-dinding alat biochar *drum killn*
6. Dilakukan pengukuran suhu setiap 10 menit dalam jangka waktu yang telah ditentukan.
7. Diamati sebagai indikator apabila asap yang keluar melalui cerobong asap menipis, maka pembakaran sudah selesai.

### 3.3.3. Cara pengamatan dan Parameter Pengukuran

Adapun cara pengamatan yang dilakukan yaitu membandingkan antara perlakuan perolehan hasil pengukuran suhu pada bagian-bagian yang telah ditentukan dengan ketebalan yang sama kemudian menganalisis kehilangan panas (*energy losses*) yang terjadi. Bagian pengukuran tersebut yaitu 7 titik pada sekeliling alat biochar drum killn diantaranya:

1. Titik ukur 1, 2 dan 3 pada bak tangki penampung bahan
2. Titik ukur 4 pada tutup bak penampung (bagian tengah alat)
3. Titik ukur 5 dan 6 pada tabung cerobong alat
4. Titik ukur 7 pada bagian atas cerobong asap (tempat keluarnya asap)

Adapun parameter-parameter yang perlu diperhatikan dalam penelitian ini antarlain yaitu :

1. Luas penampang

Untuk menghitung luas permukaan pada alat biochar drum killn digunakan persamaan 4 (Anonim, 2016)

$$L = 2 \cdot \pi r \cdot (r + t) \dots \dots \dots (4)$$

Dengan:

$$L = \text{luas penampang (m}^2\text{)}$$

$$= \frac{22}{7}$$

$$r = \text{jari-jari (m)}$$

t = tinggi (m)

2. Luas selimut

Untuk menghitung luas selimut pada alat biochar drum kiln digunakan persamaan 5 (Anonim,2016)

$$L = 2\pi r t \dots\dots\dots (5)$$

Dengan :

$$L = \text{luas selimut (m}^2\text{)}$$
$$= \frac{22}{7}$$

r = jari-jari (m)

t = tinggi (m)

3. Tebal dinding

Untuk menghitung tebal dinding drum pembakaran menggunakan jangka sorong.

4. Energi yang hilang

Panas yang hilang terjadi pada seluruh sisi tungku (dinding, alas, dan penutup tungku). Perhitungan laju aliran panas pada masing-masing sisi tungku dihitung dengan menggunakan persamaan 6 (Ahmad dkk, 2011)

$$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link}) \dots\dots\dots (6)$$

Dengan

$$Q_L = \text{laju aliran panas (W)}$$

U = koefisien perpindahan panas menyeluruh (W/m<sup>0</sup>C)

A = luas permukaan dinding (m<sup>2</sup>)

T<sub>rb</sub> = suhu ruang bakar (°C)

T<sub>link</sub> = suhu lingkungan (°C)

5. Suhu Lingkungan

Suhu lingkungan di ambil setiap 10 menit sekali dalam waktu 120 menit menggunakan thermometer.

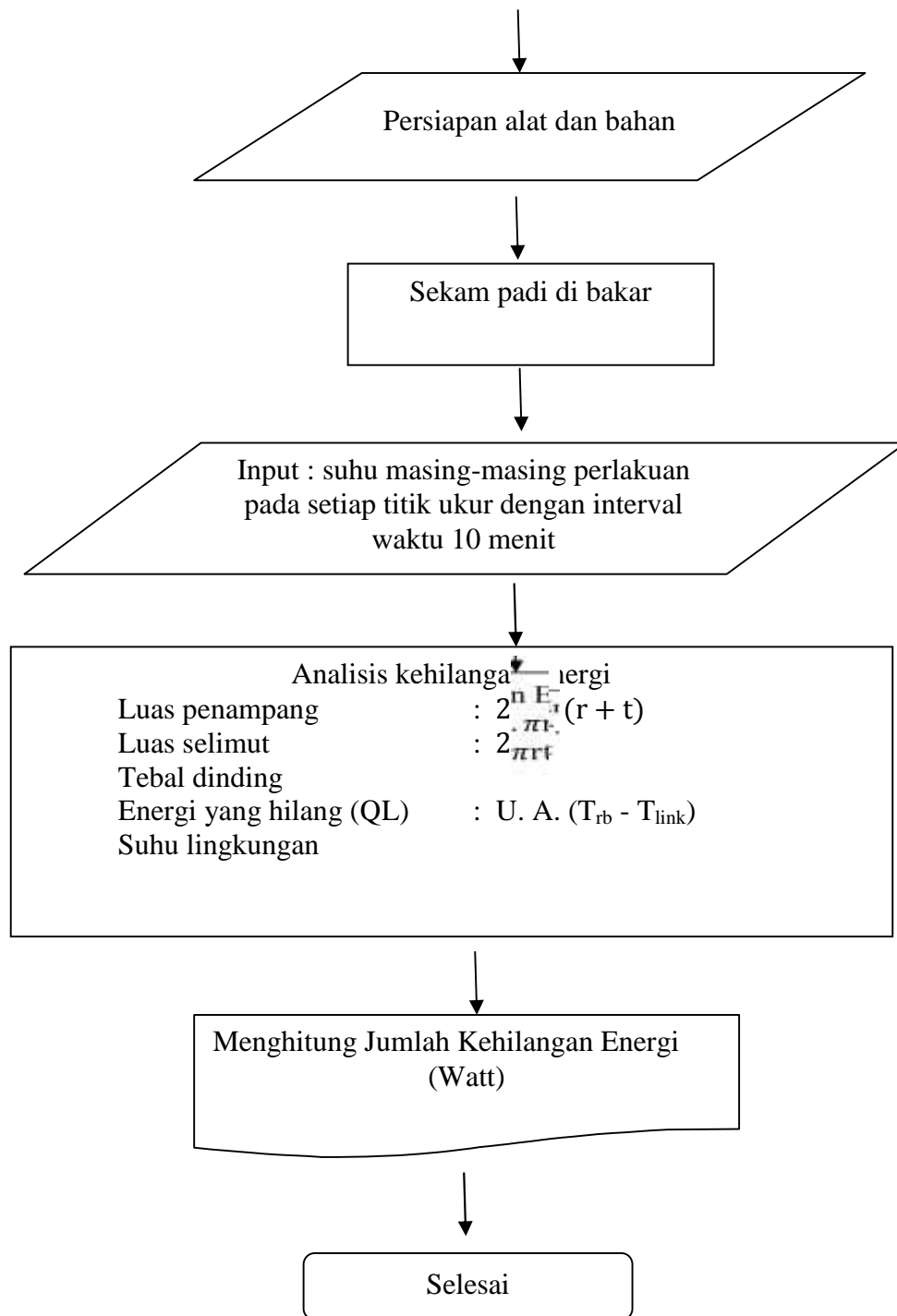
6. Rendemen

Rendemen adalah persentasi produk yang didapatkan dari membandingkan berat awal bahan dengan berat akhirnya. untuk menghitung rendemen yang dihasilkan digunakan persamaan 7 (Isaac, Pereira. 2009) :

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \times 100 \% \dots\dots\dots (7)$$

### 3.5. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian





**Gambar 3. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian**

### 3.6. Analisis data

Data yang diperoleh dari penelitian ini akan dianalisa dengan menggunakan pendekatan statistik program *Microsoft Excel* 2007 dan hasilnya di tampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah energi hilang melalui permukaan dinding dan menganalisis potensi energi hilang pada tiap titik pengukuran selama proses pembuatan arang sekam padi menggunakan alat biochar. Pembuatan arang sekam padi dilakukan dengan cara memasukkan bahan baku sekam padi ke dalam bak tangki penampung bahan yang berbentuk tabung, berdiameter 0,5 meter, jari-jari 0,25 meter dan tinggi tabung (bak tangki penampung bahan) 1 meter. Sehingga dapat dihitung luas permukaan bak penampung sebesar  $1,96 \text{ m}^2$ .

Jumlah bahan yang digunakan yaitu 10, 15, dan 22 Kg sesuai kapasitas tampungan *drum killn*. Adanya perbedaan jumlah kapasitas bahan yang digunakan hanya sebagai pembandingan antara perlakuan pertama, kedua dan ketiga. Proses pembakaran sekam padi menjadi arang menggunakan alat biochar dilakukan selama 120 menit dengan pengambilan data berjarak 10 menit sekali. Hal ini karena waktu yang dibutuhkan untuk membakar sekam padi cukup lama, sehingga dibutuhkan pengambilan data sebanyak mungkin untuk memperkecil tingkat kesalahan (*error*) dalam proses perhitungan dan pengolahan data.

Pada awal proses pembuatan arang, untuk memicu pembakaran ditambahkan sedikit minyak tanah kemudian dilakukan pembakaran. Dalam proses pembakaran awal tersebut, panas yang dihasilkan oleh minyak tanah hanya berlangsung 3 menit kemudian dilanjutkan oleh nyala api dari sekam padi. Sehingga dalam pengukuran kehilangan energi dengan jarak waktu 10 menit kalor yang dihasilkan oleh minyak tanah tersebut tidak terhitung, namun dapat diketahui dengan nilai kalor bakar minyak tanah sebesar 11.100 kKal/kg (Zunaidi, A., 2013) didapatkan hasilnya 16,7 W selama proses pembakaran. Sedangkan untuk sekam padi memiliki nilai kalor sebesar 3300 kKal/kg (Houston, 1972) dengan konduktivitas panas 0,271 BTU. Indikator pembakaran dikatakan berhenti jika asap yang keluar dari cerobong asap mulai menipis. Pengukuran kehilangan energi dilakukan dengan mengukur suhu disekeliling alat *biochar drum killn* yang

telah dipasang alat *thermodigital* dan *thermocouple* di beberapa titik ukur yang telah ditentukan.

#### **4.1. Perpindahan Panas Selama Proses Pembakaran**

Perpindahan panas adalah proses dimana kalor mengalir dari daerah yang mempunyai temperatur lebih tinggi ke daerah yang lebih rendah dalam suatu medium (padat, cair, atau gas). Perpindahan panas merupakan ilmu yang digunakan untuk meramalkan perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya suhu di antara benda atau material. Dalam proses perpindahan energi tersebut, tentu ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi atau lebih dikenal dengan laju aliran panas. Ada tiga bentuk perpindahan panas yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Dalam proses pembuatan arang menggunakan alat biochar, perpindahan panas terjadi secara konduksi dan konveksi dengan mengabaikan perpindahan panas secara radiasi.

Perpindahan panas secara konduksi terjadi secara searah menyeluruh pada bagian bawah alat yaitu pada titik ukur 1, titikukur 2, titik uku3, dan titik ukur 4. Sedangkan pada bagian cerobong asap untuk titik ukur 5, titik ukur 6 dan titik ukur 7 perpindahan panas terjadi secara konveksi. Data hasil perhitungan dapat dilihat di lampiran.



Gambar 4. Hasil pembakaran arang sekam padi dengan massa 10 kg





Gambar 5. Hasil Pembakaran menggunakan massa 15 kg



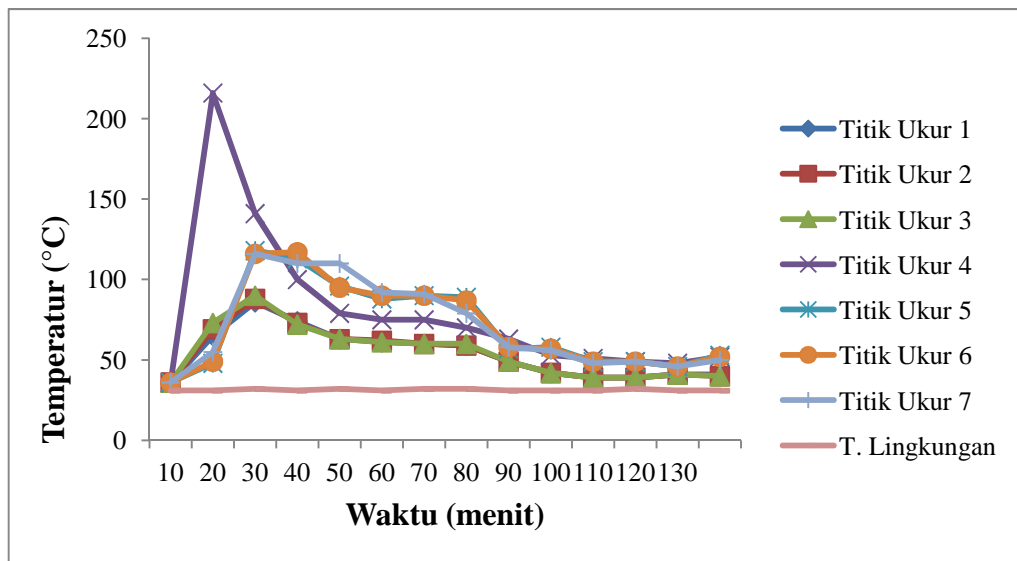
Gambar 6. Hasil Pembakaran menggunakan massa 22kg

#### **4.2. Perbandingan Suhu Pada Tiap Titik Pengukuran Dengan Jumlah Kapasitas Sekam Padi Yang Berbeda**

Perpindahan panas secara konduksi tentunya sangat berpengaruh terhadap besarnya suhu yang dihasilkan dan laju aliran perpindahan panasnya. Untuk mengetahui jumlah kehilangan energi pada saat pembakaran menggunakan alat biochar dilakukan pengukuran suhu pada sekeliling permukaan dinding alat biochar. Pengukuran tersebut dilakukan pada beberapa titik ukur yang telah ditentukan sebagai data perolehan perbandingan.

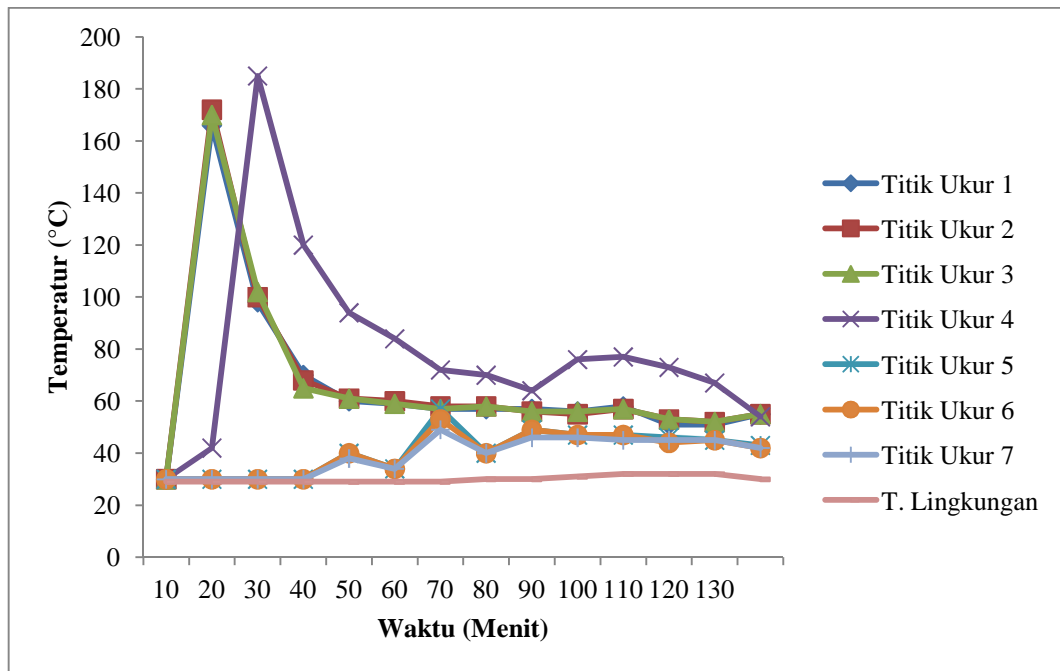
Adapun titik pengukurannya dibagi menjadi 7 titik pengukuran yaitu 3 titik ukur pada bak tangki penampung bahan, 1 titik ukur pada penampung bahan

(bagian tengah alat), 2 titik ukur pada tabung cerobong alat biochar, dan 1 titik ukur dibagian atas cerobong asap (tempat keluarnya asap). Selain dari beberapa jumlah titik ukur yang telah ditentukan, jumlah bahan yang digunakan setiap ulangan berbeda-beda untuk sekali pengambilan data. Untuk lebih jelasnya perbandingan pada setiap titik ukur pada alat biochar drum killn dapat ditunjukkan pada gambar berikut :

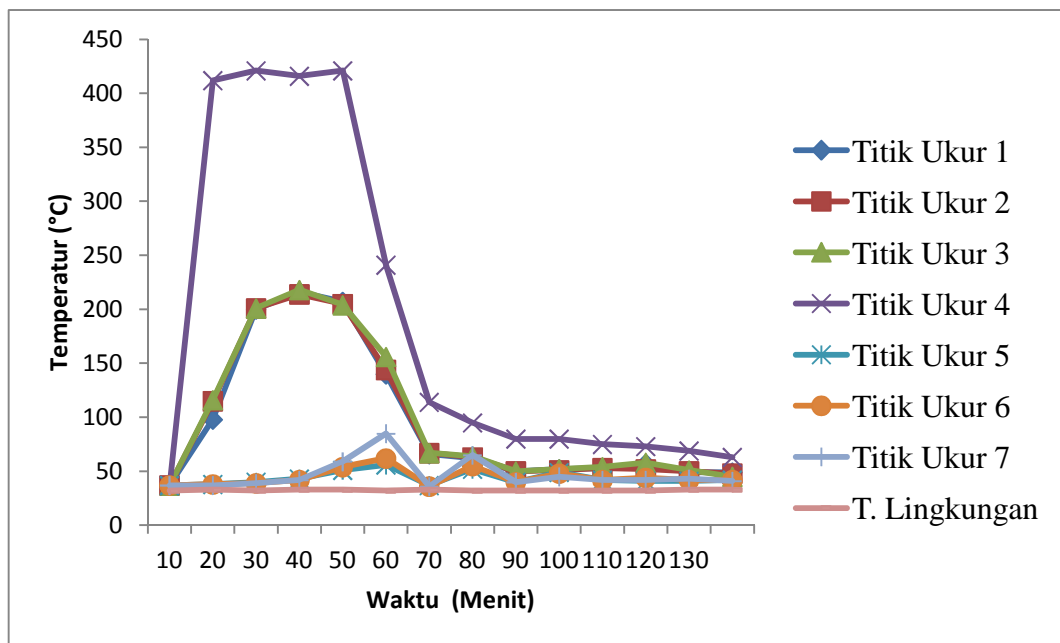


Gambar 3. Grafik perbandingan jumlah suhu pada tiap titik ukur dengan berat bahan 10kg

Gambar 3 menunjukkan perjalanan suhu selama proses pembakaran disemua bagian titik pengukuran dari bagian bawah yaitu pada bak tangki penampung bahan sampai ke bagian atas alat yaitu cerobong asap, dengan berat bahan 10 kg dapat ditunjukkan bahwa suhu pada setiap titik ukur tidak jauh berbeda dengan grafik pada Gambar 3 tersebut, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 4. Grafik perbandingan jumlah suhu pada tiap titik ukur dengan berat bahan 15 kg



Gambar 5. Grafik perbandingan jumlah suhu pada tiap titik ukur dengan berat bahan 22 kg

Gambar 3, 4, dan 5 menunjukkan bahwa masing-masing bagian tempat pengukuran memiliki suhu yang meningkat pada waktu tertentu. Kondisi pada setiap titik ukur menunjukkan peningkatan suhu secara bergantian. Pada kondisi

menit awal di beberapa bagian titik pengukuran memiliki suhu yang lebih tinggi, terutama pada titik ukur 4 yaitu bagian tutup bak tangki penampung bahan. Pada titik tersebutlah penguraian sedang terjadi dan pada titik ukur tersebutlah merupakan tempat berakhirnya titik api yang menandakan semua bahan akan terurai menjadi arang.

Disamping melakukan pengukuran suhu pada setiap titik ukur disekeliling alat biochar, perlu dilakukan juga pengukuran suhu lingkungan karena sangat berpengaruh terhadap proses kehilangan energi dari ruang pembakaran menuju ke lingkungan sekitar. Panas yang keluar dari ruang pembakaran akan berbentuk asap dan menyebar ke lingkungan yang merupakan hasil penguraian pada proses pembakaran dalam pembuatan arang sekam padi menggunakan alat biochar.

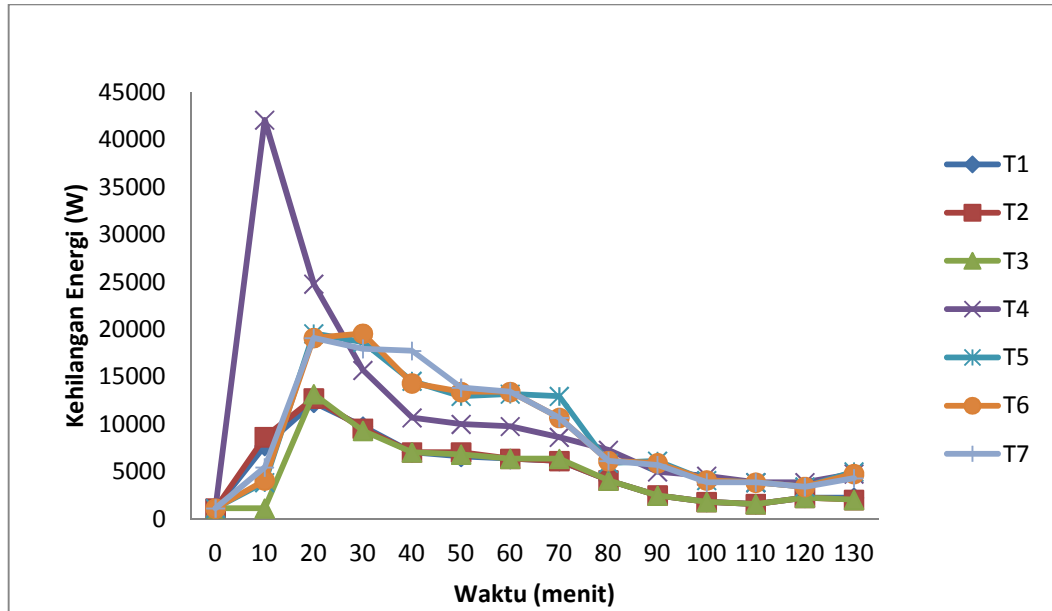
Dari gambar grafik (Gambar 3, 4, dan 5 ) menunjukkan bahwa suhu lingkungan pada saat proses pembakaran tidak mengalami perubahan yang tinggi atau tetap dalam keadaan stabil yang berkisar antara 29 - 33°C dari menit ke 0 sampai menit ke 120 pada masing-masing perlakuan.

#### **4.3. Kehilangan Energi Terhadap Lama Waktu Pembakaran**

Perpindahan panas yang terjadi pada waktu pembakaran sekam padi menggunakan alat biochar adalah perpindahan panas secara konduksi. Hal ini dapat diamati melalui panas yang merambat dari bahan yang telah dibakar berupa sekam padi menuju ke permukaan dinding alat biochar. Dinding alat biochar berupa plat seng yang memiliki konduktivitas thermal sebesar 116 k (W/m°C). Nilai konduktivitas thermal suatu bahan menunjukkan laju perpindahan panas yang mengalir dalam suatu bahan. semakin besar nilai konduktivitasnya, maka semakin besar juga panas yang mengalir dari benda tersebut

Untuk menghitung nilai kehilangan energi pada setiap titik ukur di tentukan dengan cara mengalikan nilai koefisien pindah panas alat biochar dengan luas permukaan alat biochar (berbentuk tabung) dan di hubungkan dengan jumlah suhu ruang pembakaran di kurangi dengan nilai suhu lingkungannya. Kehilangan energi pada proses pembuatan arang sekam padi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jumlah massa sekam padi dan lama waktu proses pembakaran.sekam padi.

Kehilangan energi pada proses pembuatan arang sekam padi pada perlakuan pertama dengan massa 10 kg dapat dilihat pada gambar berikut :

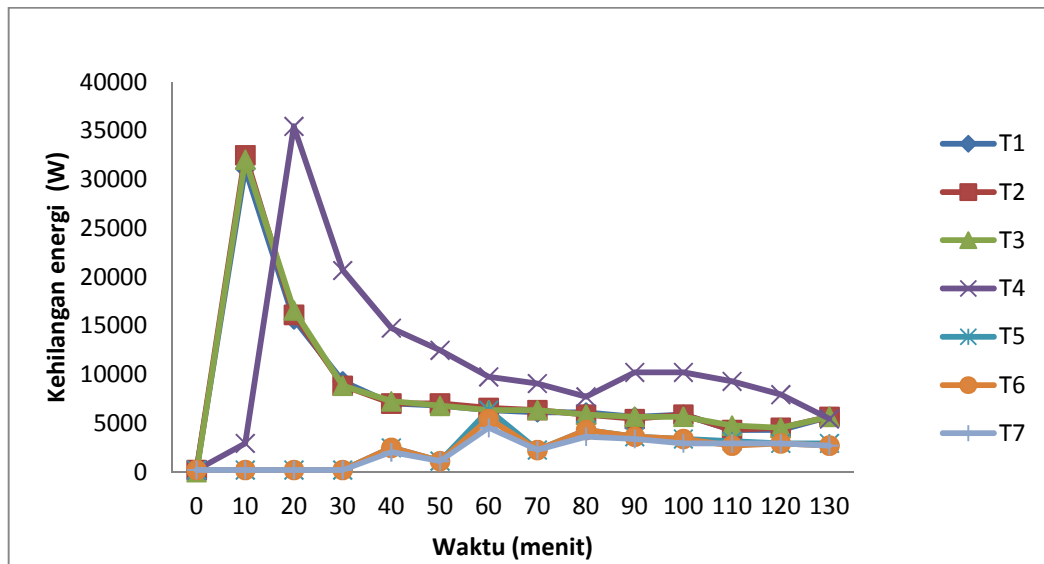


Gambar 6. Grafik kehilangan energi terhadap waktu dengan menggunakan massa 10 kg

Gambar 6 menunjukkan jumlah kehilangan energi pada setiap titik ukur mulai dari menit ke 0 sampai dengan menit ke 130, dimana kehilangan energi tertinggi terjadi pada titik ukur ke 4 yaitu mencapai 24782,24 W dan terjadi pada waktu ke 20 menit. Pada T1 kehilangan energi tertinggi terjadi pada menit ke 20 dengan nilai kehilangan energi yaitu mencapai 122277,44 W dan terendah mencapai 2273,6 W pada menit ke 130. Pada T2 kehilangan energi tertinggi terjadi pada menit ke 20 mencapai 12732,16 W dan terendah terjadi pada menit ke 110 dengan nilai kehilangan energinya mencapai 1591,52 W. Pada T3 kehilangan energi tertinggi terjadi pada menit ke 20 yaitu mencapai 13186,88 W dan terendah terjadi pada menit ke 10 yaitu mencapai 1136,8 W. Pada T4 jumlah kehilangan energi tertinggi terjadi pada menit ke 20 yaitu mencapai 24782,24 W dan terendah mencapai 3865,12 W pada menit ke 110 dan 120. Sedangkan kehilangan energi tertinggi pada T5, T6, dan T7 terjadi pada menit ke 20 yaitu mencapai 19552,96 W dan 19098,24 W dan terendah terjadi pada menit ke 120 mencapai 3410,4 W. Jumlah kehilangan energi pada proses pembakaran yang terjadi pada

waktu 20 menit pertama merupakan puncak proses pembakaran dimana pada bagian bak tangki penampungan bahan terjadi pembakaran secara menyeluruh.

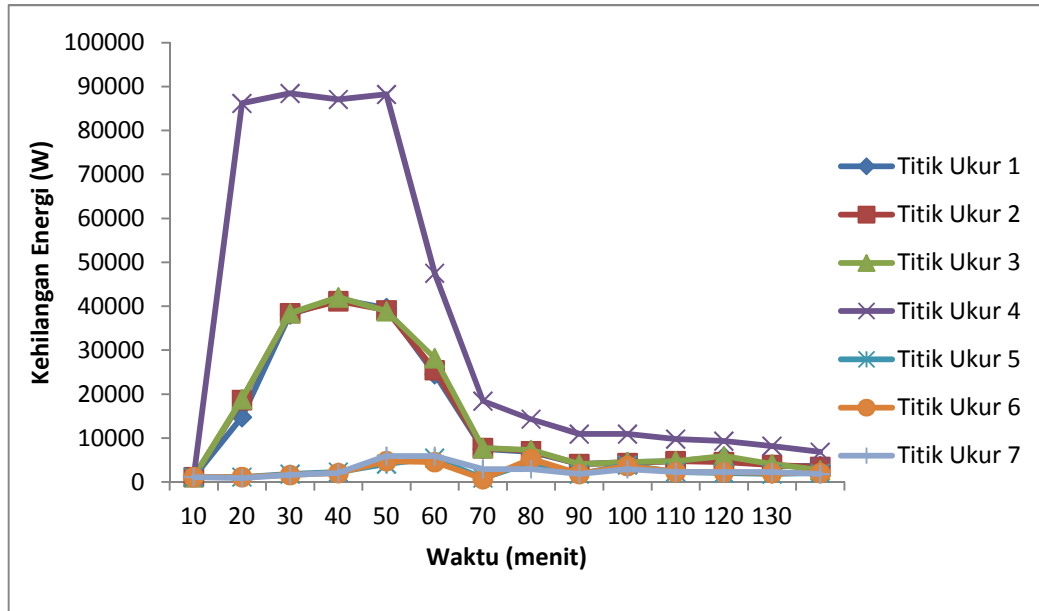
Proses kehilangan energi pada proses pembuatan arang sekam padi perlakuan ke dua yaitu dengan massa 15 kg dapat dilihat pada gambar berikut :



Gamabr 7. Grafik kehilangan energi terhadap waktu dengan menggunakan massa 15 kg

Pada gambar grafik (gambar 7) menunjukkan bahwa kehilangan energi yang tertinggi terjadi pada titik ukur T1, T2, dan T3 pada menit ke 10 pertama yaitu mencapai 31148,32 W pada T1, 32512,48 W pada T2 dan 32057,76 W pada T3, untuk T4 mencapai 35468,16 W pada menit ke 20, T5 dan T7 masing- masing mencapai 6366,08 W dan 4547,2 W pada menit ke 60. Pada T1, T2, dan T3 kehilangan energi terendah terjadi pada menit ke 110 dan 120, pada T4 terjadi pada menit ke 10, pada T5, T6, dan T7 kehilangan energi terendah terjadi pada menit ke 10. dan menit ke 70. Titik ukur ke 4 terletak pada bagian bak tangki penampung bahan dimana titik tersebut merupakan letak pembakaran awal, sedangkan titik ukur ke 5, 6, dan 7 berada di cerobong asap pembakaran. Jumlah massa bahan sekam padi berbeda dari perlakuan pertama yaitu mencapai 15 kg yang menyebabkan bak tangki penampung bahan masih memiliki sedikit ruang kosong shingga laju aliran panas menuju tabung cerobong asap lebih lambat dari perlakuan pertama dengan menggunakan 10 kg bahan sekam padi.

Proses kehilangan energi pada proses pembuatan arang sekam padi perlakuan ke dua yaitu dengan massa 22 kg dapat dilihat pada gambar berikut :



Gamabr 8. Grafik kehilangan energi terhadap waktu dengan menggunakan massa 22 kg

Pada gambar grafik (gambar 8) menunjukkan kehilangan energi tertinggi terjadi pada titik ukur T1 sampai T3 pada waktu 30 menit pertama yaitu masing-masing mencapai 41606,88 W pada T1, 41152,16 W pada T2, dan 420616 W pada T3. Untuk T4 mencapai 8843,04 W pada waktu 20 menit pertama, T5 dan T7 masing-masing mencapai 407429,1 W dan 12050,08 W terjadi pada menit ke 50 dan T6 mencapai 5229,0 W pada menit ke 70.

Pada perlakuan ke tiga dengan massa bahan sekam padi 22 kg lebih banyak dari perlakuan pertama 10 kg dan perlakuan kedua 15 kg menyebabkan ruang bak penampung bahan terisi penuh sehingga.pada bagian atas alat yaitu bagian cerobong asap mengalami kehilangan energi cukup tinggi..

#### 4.4. Rendemen

Rendemen adalah persentasi produk yang didapatkan dari membandingkan berat awal bahan dengan berat akhirnya. Sehingga kehilangan berat selama proses pengolahan dapat diketahui. Rendemen didapatkan dengan cara menimbang berat

akhir bahan yang dihasilkan dari proses dibandingkan dengan berat bahan awal sebelum mengalami proses pengolahan (Isaac, Pereira. 2009).

Dari hasil perhitungan pada perlakuan pertama dengan berat awal bahan 10 kg, setelah mengalami proses pembakaran arang yang dihasilkan mencapai 4,5 kg dan abu yang dihasilkan seberat 1,2 kg. Sehingga dapat dihitung untuk rendemennya diperoleh 57%.. Pada perlakuan kedua dengan berat awal bahan 15 kg setelah mengalami proses pembakaran arang yang dihasilkan seberat 7 kg dan abu sebanyak 2 kg, sehingga dapat dihitung untuk rendemennya sebesar 60%. Untuk perlakuan ke tiga yaitu menggunakan berat awal bahan 22 kg, setelah mengalami proses pembakaran arang yang dihasilkan mencapai 6,5 kg dan abu yang dihasilkan sebesar 5,5 kg, sehingga dapat diketahui rendemennya sebesar 54%. Proses pembakaran menggunakan metode drum kiln ini dikatakan berhasil karena jumlah arang yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan dengan jumlah abu.

Perbandingan nilai rendemen antara perlakuan pertama, kedua dan perlakuan ketiga, dapat dilihat dari kapasitas tampung alat biochar untuk menentukan kesempurnaan pembakaran. Jika semakin sedikit massa bahan yang digunakan maka akan terjadi pembakaran yang sempurna dengan menghasilkan jumlah arang yang lebih banyak di bandingkan dengan jumlah abu. Jika membandingkan nilai rendemen pada perlakuan pertama dengan perlakuan ke tiga, nilai rendemen yang dihasilkan pada perlakuan pertama lebih besar dibanding perlakuan ketiga. Hal ini disebabkan dalam proses pembakaran dengan menggunakan kapasitas 22 kg bahan, mengakibatkan sempitnya rongga udara pada ruang pembakaran, sehingga aliran panas yang menuju sampai ke permukaan bawah tidak dapat terbakar secara sempurna.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan pembahasan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada proses pembuatan arang sekam padi menggunakan alat biochar, penguraian panas terjadi secara bertahap, yaitu pada bagian tengah alat(bagian tutup bak tangki penampung bahan) merupakan tempat kehilangan energi tertinggi, bagian bawah (bak tangki penampung bahan) dan bagian atas alat (cerobong asap) merupakan tempat kehilangan energi terendah.
2. Semakin banyak kapasitas bahan sekam padi yang digunakan, maka semakin lama waktu pembakaran dan sedikitnya ruang udara dalam bak tangki penampung bahan sehingga aliran panas yang menuju ke lingkungan lebih lambat.
3. Banyaknya arang yang dihasilkan dibandingkan abu menandakan bahwa proses pembuatan arang sekam menggunakan alat biochar ini berhasil dengan rendemen tertinggi pada berat 15kg yaitu 60% dan rendemen terendah dengan massa 22 kg sebanyak 54%.
4. Perpindahan panas yang terjadi selama proses pembuatan arang sekam padi menggunakan alat biochar adalah perpindahan panas secara konduksi yang terjadi pada bagian bawah alat.

## 5.2. Saran

Dalam pemanfaatan kehilangan energi yang cukup tinggi pada proses pembuatan arang sekam padi menggunakan alat biochar *drum kiln*, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menambahkan isolator sekeliling alat biochar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2016. Perpindahan Kalor. <http://tikatiwiberbagitentangfisika.blogspot.co.id/2013/06/perpindahan-kalor-secara-radiasi.html>. Diakses 23 Maret 2016
- Anonim, 2016. Metode-metode Pembuatan Arang. <http://hutanbaubau.blogspot.co.id/2014/07/metode-metode-pembuatan-arang.html>. Diakses 03 Mei 2016
- Anonim, 2016. Tabung (Geometri ). [https://id.wikipedia.org/wiki/Tabung\\_%28geometri%29](https://id.wikipedia.org/wiki/Tabung_%28geometri%29). Diakses 28 Juni 2016.
- Ahmad, Ary Mustofa, Ekoyanto Pudjiono dan Arif Bambang Setyawan, 2011. Jurnal Teknologi Pertanian Vol.12 No. 3 Rancang Bangun dan Uji Performansi Tungku Keramik Berpipa Spiral Dengan Bahan Bakar Padat. Jurusan Keteknikan Pertanian, Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.
- Ayatullah, Septa Mohammad. 2009. Bioetanol Tenaga Yang Terbarukan. <http://septa-ayatullah.blogspot.com/2009/01/bioetanol-tenaga-yang-terbarukan.html> Diakses 12 Desember 2016
- Bambang Sapto A., 2012. Si Hitam Biochar yang Multiiguna. PT. Perkebunan Nusantara X (Persero), Surabaya
- Bejan, Adrian dan Kraus, Alan D. 1948. Heat Transfer Hadbook. John Wiley & sons. Newyork.

- Brades, A.C. dan Tobing, F.S., 2008. Pembuatan Briket Arang dari Enceng Gondok (*Eichornia Crasipess Solm*) dengan Sagu sebagai Pengikat, Indralaya : Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya, Palembang.
- Brownell, L.E., and Young, E.H., 1983, *Process Equipment Design*. John Willey and Sons Inc., New York.
- Danarto, Y.C., Nur, A., Setiawan, D.P., dan Kuncoro, N.D. 2010. Pengaruh Waktu Operasi Terhadap Karakteristik Char Hasil Pirolisis Sekam Padi Sebagai Bahan Pembuatan Nano Struktur Supermikroskopous Carbon. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia. Yogyakarta. Hal. 1-2.
- Ekalinda, oni. 2016. *Teknologi Pembuatan Arang Tempurung Kelapa*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Riau. Pekanbaru.
- Glaser, B., J. Lehmann, W. Zech. 2002. *Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: a review*. *Biology and Fertility of Soils* 35: 219-230.
- Hsu, H.W., dan Luh, B.S. 1980. *Rice Hull*. Dalam *Rice Produck And Utilization*. Editor: Bor Shiun Luh. New York: Avi Publishing Company Inc. Hal. 736-740.
- Hunt, J., M. DuPont, D. Sato, dan A. Kawabata. 2010. *The basic of biochar: A natural soil amandement. Soil and Crop Management*. College of Tropical Agriculture and Human Resources. University of Hawai'iManoa.
- Holman, J.P, dan Ir E. Jasjfi. 1984. *Perpindahan Kalor (Heat Transfer)*. Penerbit Erlangga. Jakarta
- Houston, D. F. 1972. *Rice Chemistry and Technology*. St.Paul, Minnesota. American
- IBI, 2012. What is Biochar?. International Biochar Initiative. [www.biochar-international.org](http://www.biochar-international.org). Diakses 22 Januari 2016
- Iskandar, Haris dan Kresno. 2005. *Panduan Singkat Cara Pembuatan Arang*. PT. Inti Prima Raya. Jakarta.

- Lehman, J. J. Gaunt, and M. Rondon. 2006. Biochar soil management on highly weathered soils in the humid tropics. P: 571—530 in *Biological approaches to Sustainable Soil Systems* (Norman Uphoff et al Eds.). Taylor & Francis Group PO Box 409267 Atlanta, GA 30384-9267.
- Lehmann, J., J. Gaunt, and M. Rondon. 2006. *Biochar sequestration in terrestrial ecosystems-a review*. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11:403-427.
- Rayandra, Arsyhar, 2011. Adsorption Isotherm of Phenol Onto Derived From Eggshell and Palm Oil Shell. *Jurnal Natur Indonesia*, 13 ISSN 1410 9379, (3) 2011.
- Yaman, S. 2004. Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks. *Energy Conversion and Management* 45:651-671.
- Zunaidi, A. 2015. Bahan bakar cair. <http://zoenaidi230493.blogspot.com/2015/04/bahan-bakar-cair.html>. Diakses 05 Desember 2015

## Lampiran 1. Menghitung Parameter

1. Luas Permukaan Tabung
2. Luas Selimut Tabung
3. Tebal Dinding
4. Energi Hilang
5. Suhu Lingkungan
6. Rendemen

Diketahui :

$$\text{Diameter} = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Jari-jari} = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

1. Luas Permukaan Tabung

$$L = 2\pi r (r + t)$$

$$L = 2 \cdot \frac{22}{7} \cdot 0,25 (0,25 + 1)$$

$$= 1,57 \cdot 1,25$$

$$= 1,96 \text{ m}^2$$

2. Luas Selimut Tabung

$$L = 2\pi r t$$

$$L = 2 \cdot \frac{22}{7} \cdot 0,25 \cdot 1$$

$$L = 1,57 \text{ m}^2$$

3. Tebal Dinding

Tebal dinding dihitung menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,05 mm. Tebal dindingnya sebesar 0,36 mm

4. Energi Hilang

$$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$

5. Suhu Lingkungan

Suhu lingkungan di ukur menggunakan termometer

Lampiran 2. Data Pengambilan Suhu Pembakaran Menggunakan Massa 10 kg

Menit ke	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T. Link
0	36	36	36	36	36	36	36	31
10	65	69	73	216	48	49	55	31
20	86	88	90	141	118	116	116	32
30	74	73	72	100	113	117	110	31
40	63	63	63	79	96	95	110	32
50	61	62	61	75	88	90	92	31
60	60	60	60	75	90	90	91	32
70	59	59	60	70	89	87	79	32
80	49	49	49	63	57	58	58	31
90	42	42	42	53	58	57	56	31
100	39	39	39	51	49	49	48	31
110	39	39	39	49	49	49	49	32
120	41	41	41	48	46	46	46	31
130	41	40	40	52	53	52	50	31

Lampiran 3. Data Pengambilan Suhu Pembakaran Menggunakan Massa 15 kg

Menit ke	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T. Link
0	30	30	30	30	30	30	30	29
10	166	172	170	42	30	30	30	29
20	98	100	102	185	30	30	30	29
30	70	68	65	120	30	30	30	29
40	60	61	61	94	40	40	38	29
50	59	60	59	84	34	34	34	29
60	57	58	57	72	57	53	49	29
70	57	58	58	70	40	40	40	30
80	57	56	56	64	49	49	46	30
90	56	55	56	76	47	47	46	31
100	58	57	57	77	47	47	45	32
110	51	53	53	73	46	44	45	32
120	51	52	52	67	45	45	45	32
130	55	55	55	54	43	42	42	30

Lampiran 4. Data Pengambilan Suhu Pembakaran Menggunakan Massa 22 kg

Menit ke	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T. Link
0	37	37	37	37	37	37	37	32
10	98	115	116	412	38	38	37	33
20	200	201	201	421	40	39	39	32
30	216	214	218	416	43	42	42	33
40	207	205	204	421	51	54	59	33
50	140	144	156	241	56	62	85	32
60	66	67	67	114	37	36	36	33
70	62	63	64	95	52	55	65	32
80	50	50	50	80	40	40	40	32
90	52	51	52	80	49	48	45	32
100	53	53	54	75	42	42	42	32
110	57	52	58	73	41	44	42	32
120	49	50	51	69	41	42	43	33
130	49	48	45	63	42	42	41	33

Lampiran 5. Hasil Perhitungan Analisis Kehilangan Energi Menggunakan Massa 10 kg

menit ke	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
0	1136.8	1136.8	1136.8	1136.8	1136.8	1136.8	1136.8
10	7730.24	8639.68	1136.8	42061.6	3865.12	4092.48	5456.64
20	12277.4	12732.2	13186.9	24782.2	19553	19098.2	19098.2
30	9776.48	9549.12	9321.76	15687.8	18643.5	19553	17961.4
40	7048.16	7048.16	7048.16	10685.9	14551	14323.7	17734.1
50	6593.44	7048.16	6820.8	10003.8	12959.5	13414.2	13869
60	6366.08	6366.08	6366.08	9776.48	13186.9	13414.2	13414.2
70	6138.72	6138.72	6366.08	8639.68	12959.5	10685.9	10685.9
80	4092.48	4092.48	4092.48	7275.52	5911.36	6138.72	6138.72



90	2500.96	2500.96	2500.96	5001.92	6138.72	5911.36	5684
100	1818.88	1818.88	1818.88	4547.2	4092.48	4092.48	3865.12
110	1591.52	1591.52	1591.52	3865.12	3865.12	3865.12	3865.12
120	2273.6	2273.6	2273.6	3865.12	3410.4	3410.4	3410.4
130	2273.6	2046.24	2046.24	4774.56	5001.92	4774.56	4319.84
Rata-rata	5115.6	5213.04	4693.36	10864.6	8948.24	8850.8	9045.68

Lampiran 6. Hasil Perhitungan Analisis Kehilangan Energi Menggunakan Massa 15 kg

Menit ke	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
0	227.36	227.36	227,361	227.36	227.36	227.36	227.36
10	31148.32	32512.48	32057.76	2955.68	227.36	227.36	227.36
20	15687.84	16142.56	16597.28	35468.16	227.36	227.36	227.36
30	9321.76	8867.04	8867.04	20689.76	227.36	227.36	227.36
40	7048.16	7048.16	7275.52	14778.4	2500.96	2500.96	2046.24
50	6820.8	7048.16	6820.8	12504.8	1136.8	1136.8	1136.8
60	6366.08	6593.44	6366.08	9776.48	6366.08	5456.64	4547.2
70	6138.72	6366.08	6366.08	9094.4	2273.6	2273.6	2273.6
80	6138.72	5911.36	5911.36	7730.24	4319.84	4319.84	3637.76
90	5684	5456.64	5684	10231.2	3637.76	3637.76	3410.4
100	5911.36	5911.36	5684	10231.2	3410.4	3410.4	2955.68
110	4319.84	4319.84	4774.56	9321.76	3183.04	2728.32	2955.68
120	4319.84	4547.2	4547.2	7957.6	2955.68	2955.68	2955.68
130	5684	5684	5684	5456.64	2955.68	2728.32	2728.32
Rata-rata	8201.2	8331.12	8971.975	11173.12	2403.52	2289.84	2111.2

Lampiran 7. Hasil Perhitungan Analisis Kehilangan Energi Menggunakan Massa 22 kg

Menit ke	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
0	1136.8	1136.8	1136.8	1136.8	1136.8	1136.8	1136.8
10	14778.4	18643.52	18870.88	86169.44	1136.8	1136.8	909.44
20	38196.48	38423.84	38423.84	88443.04	1818.88	1591.52	1591.52
30	41606.88	41152.16	42061.6	87078.88	2273.6	2046.24	5911.36
40	39560.64	39105.92	38878.56	88215.68	4092.48	4774.56	5911.36
50	24554.88	25464.32	28192.64	47518.24	407429.1	6820.8	12050.08
60	7502.88	7730.24	7730.24	18416.16	909.44	682.08	682.08
70	6820.8	7048.16	7275.52	14323.68	4547.2	5229.28	7502.88
80	4092.48	4092.48	4092.48	10913.28	1818.88	1818.88	1818.88
90	4547.2	4319.84	4547.2	10913.28	3865.12	3637.76	2955.68
100	4774.56	4774.56	4774.56	9776.48	2273.6	2273.6	2273.6
110	5684	4547.2	5911.36	9321.76	2046.24	2728.32	2273.6
120	3637.76	3865.12	4092.48	8184.96	1818.88	2046.24	2273.6
130	3637.76	3410.4	2728.32	6820.8	2046.24	2046.24	1818.88
Rata-rata	3637.76	14551.04	14908.32	34802.32	31229.52	2712.08	3507.84

Lampiran 10. Contoh Data Hasil Perhitungan Kehilangan Energi dengan Massa 10 kg

Diketahui :

$$U = 116 \text{ W/m}^2\text{C}$$
$$A = 1,96 \text{ m}^2$$

$$= 227,36 \cdot 31$$
$$= 7048,16 \text{ W}$$

- a. Titik Ukur 1 sampai Titik Ukur 7  
menit ke 0

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 36 \text{ }^\circ\text{C}$$
$$T_{link} = 31 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$
$$= 116 \cdot 1,96 (36 - 31)$$
$$= 227,36 \cdot 5$$
$$= 1136,8 \text{ W}$$

- b. Titik Ukur 1 menit ke 10

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$$
$$T_{link} = 31 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$
$$= 116 \cdot 1,96 (65 - 31)$$
$$= 227,36 \cdot 34$$
$$= 7730,24 \text{ W}$$

- c. Titik Ukur 1 menit ke 20

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 86 \text{ }^\circ\text{C}$$
$$T_{link} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$
$$= 116 \cdot 1,96 (86 - 32)$$
$$= 227,36 \cdot 54$$
$$= 12277,44 \text{ W}$$

- d. Titik Ukur 1 menit ke 30

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 74 \text{ }^\circ\text{C}$$
$$T_{link} = 31 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$
$$= 116 \cdot 1,96 (74 - 31)$$
$$= 227,36 \cdot 43$$
$$= 9776,48 \text{ W}$$

- e. Titik Ukur 1 menit ke 40

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 63 \text{ }^\circ\text{C}$$
$$T_{link} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$
$$= 116 \cdot 1,96 (63 - 32)$$

- f. Titik Ukur 1 menit ke 50

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 61 \text{ }^\circ\text{C}$$
$$T_{link} = 31 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$
$$= 116 \cdot 1,96 (61 - 31)$$
$$= 227,36 \cdot 30$$
$$= 6820,8 \text{ W}$$

- g. Titik Ukur 1 menit ke 60

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$
$$T_{link} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$
$$= 116 \cdot 1,96 (60 - 32)$$
$$= 227,36 \cdot 28$$
$$= 6366,8 \text{ W}$$

- h. Titik Ukur 1 menit ke 70

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 59 \text{ }^\circ\text{C}$$
$$T_{link} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$
$$= 116 \cdot 1,96 (59 - 32)$$
$$= 227,36 \cdot 27$$
$$= 6138,72 \text{ W}$$

- i. Titik Ukur 1 menit ke 80

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 49 \text{ }^\circ\text{C}$$
$$T_{link} = 31 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$
$$= 116 \cdot 1,96 (49 - 31)$$
$$= 227,36 \cdot 18$$
$$= 4092,48 \text{ W}$$

- j. Titik Ukur 1 menit ke 90

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 42 \text{ }^\circ\text{C}$$
$$T_{link} = 31 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$
$$= 116 \cdot 1,96 (42 - 31)$$
$$= 227,36 \cdot 11$$
$$= 2500,96 \text{ W}$$

k. Titik Ukur 1 menit ke 100

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 39 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{link} = 32 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$

$$= 116 \cdot 1,96 (39 - 32)$$

$$= 227,36 \cdot 7$$

$$= 1591,52 \text{ W}$$

m. Titik Ukur 1 menit ke 110

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 39 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{link} = 31 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$

$$= 116 \cdot 1,96 (39 - 31)$$

$$= 227,36 \cdot 8$$

$$= 1818,88 \text{ W}$$

n. Titik Ukur 1 menit ke 120

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 41 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{link} = 31 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$

$$= 116 \cdot 1,96 (41 - 31)$$

$$= 227,36 \cdot 10$$

$$= 2273,66 \text{ W}$$

o. Titik Ukur 1 menit ke 130

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 41 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{link} = 31 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$

$$= 116 \cdot 1,96 (41 - 31)$$

$$= 227,36 \cdot 10$$

$$= 2273,66 \text{ W}$$

Lampiran 11. Contoh Data Hasil Perhitungan Kehilangan Energi Menggunakan Massa 15 Kg

Diketahui :

$$U = 116 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$$

$$A = 1,96 \text{ m}^2$$

$$= 7048,16 \text{ W}$$

- a. Titik Ukur 1 sampai Titik Ukur 7 menit ke 0

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{link} = 29 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_L &= U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link}) \\ &= 116 \cdot 1,96 (30 - 29) \\ &= 227,36 \cdot 1 \\ &= 227,36 \text{ W} \end{aligned}$$

- b. Titik Ukur 1 menit ke 10

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 39 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{link} = 31 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_L &= U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link}) \\ &= 116 \cdot 1,96 (39 - 31) \\ &= 227,36 \cdot 8 \\ &= 1818,88 \text{ W} \end{aligned}$$

- c. Titik Ukur 1 menit ke 20

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 98 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{link} = 29 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_L &= U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link}) \\ &= 116 \cdot 1,96 (98 - 29) \\ &= 227,36 \cdot 69 \\ &= 15687,84 \text{ W} \end{aligned}$$

- d. Titik Ukur 1 menit ke 30

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{link} = 29 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_L &= U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link}) \\ &= 116 \cdot 1,96 (70 - 29) \\ &= 227,36 \cdot 41 \\ &= 9321,76 \text{ W} \end{aligned}$$

- e. Titik Ukur 1 menit ke 40

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{link} = 29 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_L &= U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link}) \\ &= 116 \cdot 1,96 (60 - 29) \\ &= 227,36 \cdot 31 \end{aligned}$$

- f. Titik Ukur 1 menit ke 50

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 59 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{link} = 29 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_L &= U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link}) \\ &= 116 \cdot 1,96 (59 - 29) \\ &= 227,36 \cdot 30 \\ &= 6820,8 \text{ W} \end{aligned}$$

- g. Titik Ukur 1 menit ke 60

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 57 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{link} = 29 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_L &= U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link}) \\ &= 116 \cdot 1,96 (57 - 29) \\ &= 227,36 \cdot 28 \\ &= 6366,8 \text{ W} \end{aligned}$$

- h. Titik Ukur 1 menit ke 70

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 57 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{link} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_L &= U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link}) \\ &= 116 \cdot 1,96 (57 - 30) \\ &= 227,36 \cdot 27 \\ &= 6138,72 \text{ W} \end{aligned}$$

- i. Titik Ukur 1 menit ke 80

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 57 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{link} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_L &= U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link}) \\ &= 116 \cdot 1,96 (57 - 30) \\ &= 227,36 \cdot 27 \\ &= 6138,72 \text{ W} \end{aligned}$$

- j. Titik Ukur 1 menit ke 90

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 56 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{link} = 31 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_L &= U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link}) \\ &= 116 \cdot 1,96 (56 - 31) \\ &= 227,36 \cdot 25 \\ &= 5684 \text{ W} \end{aligned}$$

- k. Titik Ukur 1 menit ke 100

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 58 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}
 T_{\text{link}} &= 32 \text{ }^{\circ}\text{C} \\
 Q_L &= U \cdot A \cdot (T_{\text{rb}} - T_{\text{link}}) \\
 &= 116 \cdot 1,96 (58 - 32) \\
 &= 227,36 \cdot 26 \\
 &= 5911,36 \text{ W}
 \end{aligned}$$

l. Titik Ukur 1 menit ke 110  
 Diketahui :  $T_{\text{rb}} = 51 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $T_{\text{link}} = 32 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $Q_L = U \cdot A \cdot (T_{\text{rb}} - T_{\text{link}})$   
 $= 116 \cdot 1,96 (51 - 32)$

$$\begin{aligned}
 &= 227,36 \cdot 19 \\
 &= 4319,84 \text{ W}
 \end{aligned}$$

m. Titik Ukur 1 menit ke 120  
 Diketahui :  $T_{\text{rb}} = 51 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $T_{\text{link}} = 32 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $Q_L = U \cdot A \cdot (T_{\text{rb}} - T_{\text{link}})$   
 $= 116 \cdot 1,96 (51 - 32)$   
 $= 227,36 \cdot 19$   
 $= 4319,84 \text{ W}$

n. Titik Ukur 1 menit ke 130  
 Diketahui :  $T_{\text{rb}} = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $T_{\text{link}} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $Q_L = U \cdot A \cdot (T_{\text{rb}} - T_{\text{link}})$   
 $= 116 \cdot 1,96 (55 - 30)$   
 $= 227,36 \cdot 25$   
 $= 5684 \text{ W}$

Lampiran 12. Contoh Data Hasil Perhitungan Kehilangan Energi Menggunakan Massa 22 Kg

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 U &= 116 \text{ W/m}^{\circ}\text{C} \\
 A &= 1,96 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

a. Titik Ukur 1 sampai Titik Ukur 7  
 menit ke 0  
 Diketahui :  $T_{\text{rb}} = 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $T_{\text{link}} = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$

- $$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$
- $$= 116 \cdot 1,96 (37 - 32)$$
- $$= 227,36 \cdot 5$$
- $$= 1136,8 \text{ W}$$
- b. Titik Ukur 1 menit ke 10  
Diketahui :  $T_{rb} = 98 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $T_{link} = 33 \text{ }^\circ\text{C}$
- $$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$
- $$= 116 \cdot 1,96 (98 - 33)$$
- $$= 227,36 \cdot 65$$
- $$= 14778,4 \text{ W}$$
- c. Titik Ukur 1 menit ke 20  
Diketahui :  $T_{rb} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $T_{link} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$
- $$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$
- $$= 116 \cdot 1,96 (200 - 32)$$
- $$= 227,36 \cdot 168$$
- $$= 38196,48 \text{ W}$$
- d. Titik Ukur 1 menit ke 30  
Diketahui :  $T_{rb} = 216 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $T_{link} = 33 \text{ }^\circ\text{C}$
- $$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$
- $$= 116 \cdot 1,96 (216 - 33)$$
- $$= 227,36 \cdot 183$$
- $$= 41606,88 \text{ W}$$
- e. Titik Ukur 1 menit ke 40  
Diketahui :  $T_{rb} = 207 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $T_{link} = 33 \text{ }^\circ\text{C}$
- $$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$
- $$= 116 \cdot 1,96 (207 - 33)$$
- $$= 227,36 \cdot 174$$
- $$= 39560,64 \text{ W}$$
- f. Titik Ukur 1 menit ke 50  
Diketahui :  $T_{rb} = 140 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $T_{link} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$
- $$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$
- $$= 116 \cdot 1,96 (140 - 32)$$
- $$= 227,36 \cdot 108$$
- $$= 24554,88 \text{ W}$$
- g. Titik Ukur 1 menit ke 60  
Diketahui :  $T_{rb} = 66 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $T_{link} = 33 \text{ }^\circ\text{C}$
- $$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$
- $$= 116 \cdot 1,96 (66 - 33)$$
- $$= 227,36 \cdot 33$$
- $$= 7502,88 \text{ W}$$
- h. Titik Ukur 1 menit ke 70  
Diketahui :  $T_{rb} = 62 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $T_{link} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$
- $$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$
- $$= 116 \cdot 1,96 (62 - 32)$$
- $$= 227,36 \cdot 30$$
- $$= 6820,8 \text{ W}$$
- i. Titik Ukur 1 menit ke 80  
Diketahui :  $T_{rb} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $T_{link} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$
- $$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$
- $$= 116 \cdot 1,96 (50 - 32)$$
- $$= 227,36 \cdot 18$$
- $$= 4092,48 \text{ W}$$
- j. Titik Ukur 1 menit ke 90  
Diketahui :  $T_{rb} = 52 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $T_{link} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$
- $$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$
- $$= 116 \cdot 1,96 (52 - 32)$$
- $$= 227,36 \cdot 20$$
- $$= 4547,2 \text{ W}$$
- k. Titik Ukur 1 menit ke 100  
Diketahui :  $T_{rb} = 53 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $T_{link} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$
- $$Q_L = U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link})$$
- $$= 116 \cdot 1,96 (53 - 32)$$
- $$= 227,36 \cdot 21$$

$$= 4774,56 \text{ W}$$

l. Titik Ukur 1 menit ke 110

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 57 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{link} = 32 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_L &= U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link}) \\ &= 116 \cdot 1,96 (57 - 32) \\ &= 227,36 \cdot 25 \\ &= 5684 \text{ W} \end{aligned}$$

m. Titik Ukur 1 menit ke 120

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 49 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{link} = 33 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_L &= U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link}) \\ &= 116 \cdot 1,96 (49 - 33) \\ &= 227,36 \cdot 16 \\ &= 3637,76 \text{ W} \end{aligned}$$

n. Titik Ukur 1 menit ke 130

$$\text{Diketahui : } T_{rb} = 49 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{link} = 33 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_L &= U \cdot A \cdot (T_{rb} - T_{link}) \\ &= 116 \cdot 1,96 (49 - 33) \\ &= 227,36 \cdot 16 \\ &= 3637,76 \text{ W} \end{aligned}$$



