

Rancang Bangun Tungku Penukar Kalor Menggunakan Pipa Spiral dengan Bahan Bakar Biomassa

Muhazir, Mahyuddin, Mohd. Isa T. Ibrahim

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Abulyatama, Aceh
Besar, 23372, Indonesia.

email: m.azir.mhr@gmail.com

Abstract: *The purpose of this research is to design a heat exchanger furnace to produce hot air that will be functioned in a drying oven for agricultural and plantation products. The method used in this study refers to the descriptive method of research that is carried out systematically, factually and accurately. The research was carried out in a mechanical laboratory at the University of Abulyatama Technical Study Program. The results of this heat exchanger furnace test show that the average temperature in the furnace is 3400C and the average output temperature released by the spiral pipe is 1890C with a combustion time of 5 hours 10 minutes with an amount of biomass fuel 11 kg. This temperature output is then forwarded to the drying oven so that it can be used to reduce moisture from grains, fruits from agriculture and plantations.*

Keywords: *Furnaces, insulation, fuels, biomass.*

Abstrak: Tujuan dari penelitian ini adalah merancang tungku penukar kalor untuk menghasilkan udara panas yang akan difungsikan ke oven pengering hasil pertanian dan perkebunan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada metode diskriptif yaitu penelitian yang dilakukan secara sistematis, faktual dan akurat. Pelaksanaan penelitian dilaksanakan dilaboratorium mekanik Program Studi Teknik Universitas Abulyatama. Hasil penelitian pada uji tungku penukar kalor ini menunjukkan bahwa temperatur rata-rata didalam tungku adalah 340⁰C dan output rata-rata temperatur yang dikeluarkan oleh pipa spiral adalah 189⁰C dengan waktu pembakaran selama 5 jam 10 menit dengan jumlah bahan bakar biomassa 11 kg. Output temperatur ini selanjutnya diteruskan ke oven pengering sehingga dapat digunakan untuk menurunkan kelembaban dari biji-bijian, buah-buahan hasil dari pertanian dan perkebunan.

Kata kunci : *Tungku, isolasi , Bahan Bakar, Biomassa.*

Banyaknya perkebunan menjadikan Indonesia sebagai komoditas perkebunan andalan bagi pendapatan nasional dan devisa negara Indonesia, pada tahun 2017 total ekspor perkebunan mencapai US\$ 31,8 milyar atau setara dengan 432,4 triliun. Statistik pohon kelapa Indonesia tahun 2017-2019 menyajikan data luas area dan produksi kelapa menurut status perusahaan tahun 2019, luas area (Ha) 3.500.726, produksi (Ton) 2.922.190 Pohon kelapa. Dengan banyaknya jumlah produksi buah kelapa tersebut, dapat

dikalkulasikan berapa juta ton tempurung kelapa yang tersebar seluruh daerah Indonesia. Karena pemanfaatan yang kurang, tempurung kelapa menjadi salah satu limbah yang sangat mudah didapatkan dan dijumpai. Dengan berbagai pemanfaatan limbah tempurung kelapa, biasanya hanya dijadikan sebagai bahan baku pembuatan arang, briket arang, arang aktif dan *liquid smoke* (asap cair). Tempurung kelapa ini lebih bernilai dan memiliki nilai jual yang tinggi karena tempurung kelapa ini memiliki karakter yang kasar, tebal, tidak fleksibel, sulit dibentuk dan kaku. Disisi lain, limbah tempurung kelapa saat ini mulai berkembang dan banyak dijadikan sebagai bahan baku dibidang interior, industri-industri kecil pariwisata dan industri-industri kecil dalam pemanfaatan nilai bakarnya. Berdasarkan kajian-kajian tentang penggunaan bahan bakar pada industri menengah dan industri kecil khususnya untuk pembakaran tungku, banyak yang menggunakan biomassa sekam padi, potongan kayu, tongkol jagung, tandan kosong sawit, batang akar sisa ubi kayu, ampas tebu dan serbuk kayu hasil gergaji dengan temperatur panas yang dihasilkan kurang efisien terhadap hasil pembakaran sehingga penulis melakukan pengujian pembakaran tungku dengan menggunakan tempurung kelapa sebagai bahan bakarnya.

Rumusan masalah yang diangkat pada penelitian ini, adalah Bagaimana rancang bangun dan desain tungku penukar kalor menggunakan pipa spira dengan bahan bakar biomassa, bagaimana prinsip kerja dari tungku penukar kalor dan perpindahan kalor dari pipa spiral yang dibakar dalam tungku hasil pembakaran biomassa tempurung kelapa, Bagaimana pengujian alat terhadap parameter alat ukur *thermocouple*?

KAJIAN PUSTAKA

Tungku.

Tungku pembakaran atau *kiln* adalah suatu tempat/ruangan yang terbuat dari batu bata tahan api yang dapat dipanaskan dengan bahan bakar atau listrik dan dipergunakan untuk membakar benda-benda. Fungsi tungku pembakaran adalah untuk membakar benda-benda yang disusun didalam tungku dan dibakar dengan menggunakan bahan bakar khusus seperti kayu, batu bara, minyak, gas, serbuk, tempurung kelapa, tandan kosong sawit, batang ubi-umbian dan lainnya.

Biomassa Tempurung Kelapa.

Tempurung kelapa terletak dibagian dalam kelapa setelah sabut. Tempurung kelapa merupakan **lapisan keras dengan ketebalan 3 mm** sampai 5 mm. Sifat kerasnya disebabkan banyaknya kandungan silikat (SiO_2) yang terdapat dalam tempurung. Dari berat total buah kelapa, antara 14-17 % merupakan berat tempurung. Selain itu tempurung juga banyak mengandung lignin. Sedangkan kandungan *methoxyl* dalam tempurung kelapa hampir sama dengan terdapat pada kayu. Pada umumnya nilai kalor yang terkandung dalam tempurung kelapa adalah berkisar antara 18200 hingga 19388,05 kj/kg. Biomassa disebut juga sebagai "fitomassa" dan sering kali diterjemahkan sebagai *bioresource* atau sumber daya yang diperoleh dari hayati sumber biomassa bisa berasal dari material organik lain yang menyimpan energi matahari dalam bentuk kimiawinya. Kemudian kandungan molekul-molekul seperti karbon hidrogen, dan oksigen dipisahkan dengan pembakaran.

Tabel 1. Komoditi biomassa dari limbah pertanian dan perkebunan

Jenis Biomassa	Produksi Spesifik (ton/ha/tahun)	Nilai Kalor (ton/ha/tahu)	Potensi Energi (MJ/ha/tahun)
Sekam padi	1,0	1,1	11.8
Tongkol jagung	1,2	15,1	17.3
Kayu laban	3,5	13,4	24.2
Batang,akar sisa ubi	5,4	8,0	43.2
Bagas tebu	24,1	12,0	288.2
Tempurung kelapa	0,6	170	9.6
Kayu mahoni	2,1	12,0	12.7
Tandan kosong sawit	4,0	8,3	32.8
Serat buah sawit	2,0	9,7	19.2

Dalam tabel diatas yang diberi tanda (hijau) adalah bahan bakar biomassa yang digunakan pada unjuk kerja tungku penukar kalor dengan bahan bakar biomassa.

METODE PENELITIAN

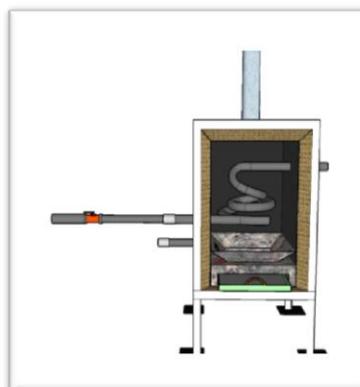
Dalam rancang bangun ini Bahan yang digunakan dalam pembuatan tungku diantaranya

Tabel 2 Bahan yang digunakan dalam pembuatan tungku.

No	Bahan	Ukuran	Jumlah	Satuan
1	Pipa galvanis	3 inc	1 Batang	Inc
2	Plat besi	1,5 mm	1 Lembar	Mm
3	Plat siku	30 x 30 mm	3 Batang	Mm
4	Besi behel	8	1 Batang	Cm
5	Stop keran	30 mm	1 Buah	Mm
6	Blower	1 Unit	1 Unit	Unit
6	Kawat las RB 2,6	1 Kg	5 Kg	Kg
7	Mata gerinda potong	-	11 Buah	-

(Sumber; Hasil Rancangan)

Untuk Penelitiannya menggunakan 3 unit Thermocoupl, 1 unit moisturise test dan timbangan. Bahan bakar biomassa (temurung kelapa) 11 kg. Pengambilan data setiap 5 menit sekali dengan lama pengujiannya 5 jam 10 menit.

**Gambar 1. Tungku penukar kalor.**

(Sumber; Hasil Rancangan)

PEMBAHASAN

Prinsip kerja Tungku Penukar Kalor Menggunakan Pipa Spiral Dengan Bahan Bakar Biomassa (Tempurung Kelapa).

Tungku Penukar Kalor Menggunakan Pipa Spiral Dengan Bahan Bakar Biomassa dirancang sebagai alat penukar kalor. Mekanisme tungku penukar kalor yaitu pembakaran pipa spiral yang dibakar didalam tungku terisolasi, untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna Tungku diisolasi dengan tanah liat sehingga udara panas yang ada didalam tungku tidak terbang keluar. Prinsip kerja tungku penukar kalor adalah pipa yang dirancang berbentuk spiral dan dibakar dalam tungku yang tertutup untuk menghasilkan udara panas dari dalam tungku, berpindah kedalam pipa spiral dan udara panas yang didalam pipa spiral tersebut ditranfer kedalam oven pengeringan yang dibantu oleh satu unit blower untuk memudahkan udara panas dalam pipa masuk kedalam oven yang terhubung langsung dengan pipa spiral.

Tungku penukar kalor menggunakan pipa spiral dengan bahan bakar biomassa memiliki 7 komponen penting antara lain :

Tungku

Tungku (dapur) berfungsi sebagai tempat pembakaran bahan bakar dalam hal ini berupa biomassa yang dibatasi oleh dinding.

Pipa Spiral.

Pipa Spiral terletak didalam ruang bakar dan berfungsi sebagai media (alat) pemanas udara yang berada didalam pipa spiral oleh pembakaran bahan bakar berupa biomassa didalam tungku.

Blower.

Blower memiliki fungsi sebagai pendorong (tekanan) udara panas yang ada didalam pipa spiral agar panas pipa mudah mengalir ke dalam Oven.

Wadah Bahan Bakar.

Wadah tempat bahan bakar terletak didalam ruang bakar yang memiliki fungsi sebagai tempat bahan bakar biomassa tempurung kelapa yang dibakar agar tempurung

kelapa tidak berserakan didalam ruang bakar.

Penampungan Limbah Bahan Bakar.

Wadah tempat sisa pembakaran terletak di bawah tempat bahan bakar yang memiliki fungsi sebagai penampungan hasil sisa pembakaran tempurung kelapa supaya dengan mudah membersihkan debu sisa pembakarannya.

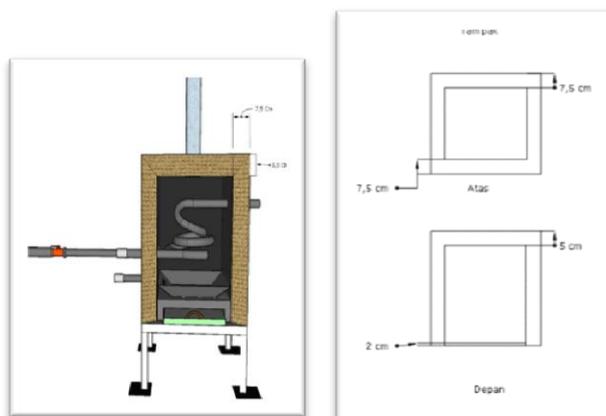
Pipa Penghubung Blower Dengan Pipa Spral.

Pipa penghubung blower dengan pipa spiral terletak dibagian samping sebelah kanan tungku yang berfungsi sebagai penghubung antara blower dan pipa spiral untuk mengaliri / mendorong udara dari blower kedalam pipa spiral.

Pipa Penyuplai Udara Dalam Ruang Bakar.

Pipa penyuplai udara dalam ruang bakar terletak dibagian samping kanan bawah tungku yang memiliki fungsi sebagai penyuplai udara dalam ruang bakar agar pembakarannya tetap sempurna.

Perhitungan Volume Isolasi Tungku



Gambar 2 Skema Isolasi Tungku

(Sumber ; Hasil Rancangan)

Isolasi Tungku Penukar Kalor Memiliki Dimensi ;

Isolasi Atas : 5 cm

Isolasi Samping Kiri : 7,5 cm

Isolasi Samping Kanan: 7,5 cm

Isolasi Belakang : 7,5 cm

Isolasi Lantai : 2 cm

a. Isolasi Bagian Atas Dengan Ukuran :

$$= 50 \times 50 \times 5 \text{ cm} = 12500 \text{ cm}^3$$

$$= 0,0125 \text{ m}^3$$

Maka Volume Isolasi Bagian Atas :

$$= 0,0125 \text{ m}^3$$

b. Isolasi Bagian Samping Kiri Dan Kanan Dengan Ukuran :

$$= 60 \times 60 \times 7,5 \times 2 \text{ Sisi.} = 54000 \text{ cm}^3$$

$$= 0,054 \text{ m}^3$$

Maka Volume Isolasi Bagian Samping Kiri Dan Kanan :

$$= 0,054 \text{ m}^3$$

c. Isolasi Bagian Belakang Dengan Ukuran :

$$= 50 \times 60 \times 7,5 \text{ cm} = 22,500 \text{ cm}^3$$

$$= 0,0225 \text{ m}^3$$

Maka Volume Isolasi Bagian Belakang :

$$= 0,0225 \text{ m}^3$$

d. Isolasi Bagian Lantai Bawah Dengan Ukuran :

$$= 50 \times 50 \times 2 \text{ cm} = 5000 \text{ cm}^3$$

$$= 0,005 \text{ m}^3$$

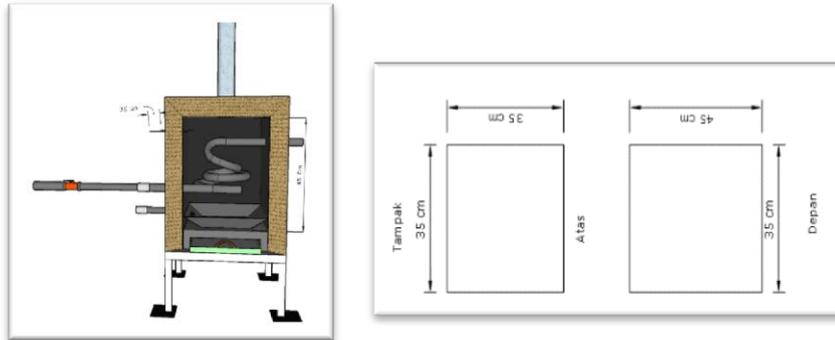
Maka Volume Isolasi Lantai Bawah :

$$= 0,005 \text{ m}^3$$

Maka Volume Keseluruhan Menjadi :

$$= 0,0125 \text{ m}^3 + 0,054 \text{ m}^3 + 0,0225 \text{ m}^3 +$$

$$0,005 \text{ m}^3 = 0,094 \text{ m}^3$$

Perhitungan Volume Ruang Bakar:**Gambar 3 Sketsa Ukuran Ruang Bakar***(Sumber ; Hasil Rancangan)*

Untuk Menghitung Ruang Bakar (Tungku) Maka Terlebih Dahulu Menghitung Volume Ruang Bakar Dasar (Dinding Luar) Dengan Ukuran := $60 \times 60 \times 2 + 60 \times 60 \times 2$ Sisi

$$= 7,200 + 7,200 \text{ cm}^3 = 14,4 \text{ cm}^3$$

$$= 0,0144 \text{ m}^3$$

Volume Plat Besi Bagian Dalam Terdapat Pada 4 Sisi Dengan Ukuran := $45 \times 45 \times 2 + 45 \times 45 \times 2$

$$= 4,050 + 4,050 = \text{cm}^3 = 8,1 \text{ cm}^3$$

Sehingga Volume :

$$= 8,1 \text{ cm}^3 \times 0,15 \text{ cm}^3 = 1,215 \text{ cm}^3$$

$$= 0,00122 \text{ m}^3$$

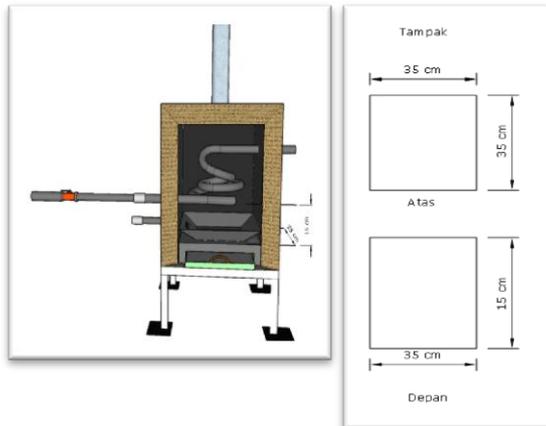
Volume Ruang Bakar/Dinding – (Volume Isolasi Tanah Liat + Volume Plat Besi):

$$= 0,0144 \text{ m}^3 - (0,094 \text{ m}^3 + 0,00122 \text{ m}^3)$$

$$= 0,0144 \text{ m}^3 - 0,09522 \text{ m}^3 = 0,08082 \text{ m}^3$$

Volume Ruang Bakar (Tungku) Sebesar $0,080 \text{ m}^3$ Merupakan Kapasitas (Isi) Dari Tungku Tersebut.

Perhitungan Volume Ruang Bahan Bakar.



Gambar 4 Sketsa Ukuran Ruang Bahan Bakar

(Sumber ; Hasil Rancangan)

Volume Ruang Bahan Bakar Dengan Ukuran ;

a. Ukuran Atas

$$= 35 \times 35 \times 2 \text{ Sisi} = 2,450 \text{ cm}^3$$

$$\text{Maka Volume ; } = 0,00245 \text{ m}^3$$

b. Ukuran Samping Kiri Dan Kanan ;

$$= 15 \times 15 \times 2 + 15 \times 15 \times 2 \text{ Sisi}$$

$$= 450 + 450 \text{ cm}^3 = 900 \text{ cm}^3$$

$$\text{Maka Volume ; } = 0,9 \text{ m}^3$$

c. Ukuran Lantai Bawah :

$$= 35 \times 35 \times 2 \text{ Sisi} = 2,450 \text{ cm}^3$$

$$\text{Maka Volume ; } = 0,00245 \text{ m}^3$$

$$\text{Maka Volume Keseluruhan Menjadi ; } = 0,00245 \text{ m}^3 + 0,9 \text{ m}^3 +$$

$$0,00245 \text{ m}^3 = 0,9049 \text{ m}^3$$

Uji Pembakaran

Tabel 3 Hasil Uji – I. Pembakaran Bahan Bakar Selama 2 Jam 10 Menit.

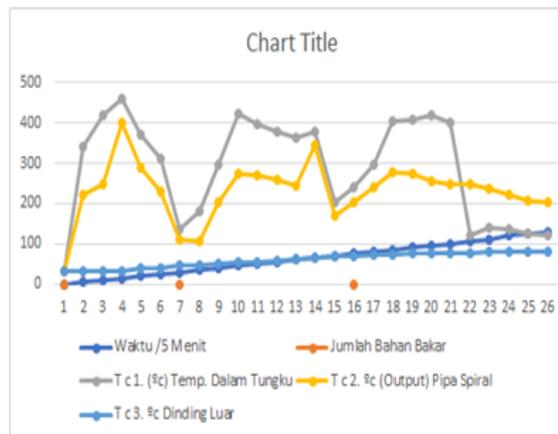
NO	Waktu /5 Menit	Jumlah Bahan Bakar	T c 1. (°c)	T c 2. °c	T c 3. °c	Keterangan
			Temp. Dalam Tungku	(Output) Pipa Spiral	Dinding Luar	
1	0	3 KG	32	32	32	
2	5		341	221	31	
3	10		420	250	31	Start Blower
4	15		461	402	33	
5	20		372	289	41	
6	25		312	229	41	
7	30	2 KG	137	110	45	
8	35		181	105	48	
9	40		296	204	50	
10	45		424	274	54	
11	50		396	271	56	
12	55		379	261	57	
13	60		362	245	62	
14	65		380	345	65	
15	70		204	170	69	
16	75	1 KG	241	205	70	
17	80		298	241	72	
18	85		406	278	74	
19	90		407	275	76	
20	95		421	257	76	
21	100		401	250	76	
22	105		121	247	78	
23	110		140	236	79	
24	120		137	221	80	
25	125		125	207	81	
26	130		120	203	81	

(Sumber; Hasil Rancangan)

Tabel 4 Hasil Uji – I. Pembakaran Bahan Bakar Selama 3 Jam.

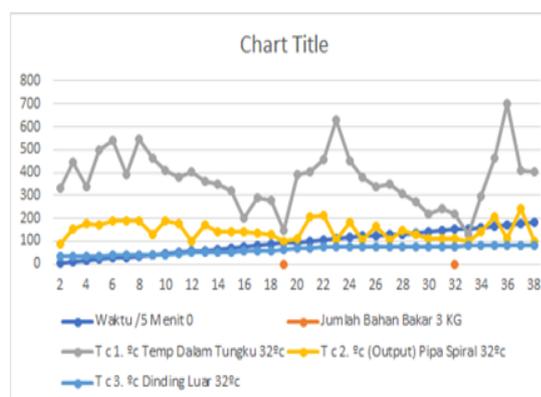
NO	Waktu /5 Menit	Jumlah Bahan Bakar	T c 1. °c	T c 2. °c	T c 3. °c	Ket
			Temp Dalam Tungku	(Output) Pipa Spiral	Dinding Luar	
1	0	3 KG	32°c	32°c	32°c	
2	5		330	84	32	
3	10		442	152	34	Start blower
4	15		340	175	34	
5	20		501	170	36	
6	25		541	188	37	
7	30		392	189	39	
8	35		544	189	41	
9	40		460	129	42	
10	45		408	189	42	
11	50		379	174	46	
12	55		405	100	50	
13	60		360	170	53	
14	65		347	140	53	
15	70		322	140	54	
16	75		202	143	55	
17	80		290	136	58	
18	85		275	127	60	
19	90	1 KG	145	96	62	
20	95		389	109	67	
21	100		405	205	68	
22	105		457	212	72	
23	110		628	107	73	
24	115		452	183	73	
25	120		380	103	74	
26	125		338	162	75	
27	126		348	105	74	
28	130		305	146	75	
29	135		269	127	75	
30	140		221	113	76	
31	145		241	112	77	
32	150	1 KG	220	110	77	
33	155		131	99	78	
34	160		294	142	79	
35	165		460	204	80	
36	170		704	110	80	
37	175		409	240	81	
38	180		405	100	81	

(Sumber ; Hasil Rancangan)

Grafik 5 Hasil Uji – I. Pembakaran Bahan Bakar Selama 2 Jam 10 Menit.

(Sumber; Hasil Rancangan)

Dari tabel 5. Hasil uji – I. Pembakara tungku selama 2 jam 10 menit, dapat dilihat pada saat pengisian bahan bakar biomassa sebanyak 3 kg. Di 5 menit pertama dengan temperatur udara 30°C sampai 32°C. 5 menit setelah bahan bakar terbakar temperatur mulai naik seperti yang terdapat pada tabel 5. Dimenit 15 puncak sempurna temperatur biomassa yang terbakar, pada menit ke 30 temperatur bahan bakarnya mulai habis dan mulai pengisian ulang bahan bakar sebanyak 2 kg. Juga terjadi penurunan temperatur dimenit ke 70 dan dimenit ke 75 penambahan bahan bakar sebanyak 1 kg. pengambilan data terakhirnya pada pengujian – I. Sampai pada menit ke 130 dengan temperature terakhir 120° (dalam ruang bakar), 203°C (output pipa spiral), 81°C (dinding luar tungku). Hasil uji – I juga dapat dilihat pada grafik 5.

Grafik 6 Hasil Uji – I. Pembakaran Bahan Bakar Selama 3 Jam.

(Sumber; Hasil Rancangan)

Pada Tabel 6. Hasil uji – II. Pembakaran tungku selama 3 jam. Pada menit pertama temperatur Tc1 (0,320°C), Tc2 (0,32°C), Tc3 (0,32°C). Dimenit yang sama pengisian bahan bakar sebanyak 3 kg, menit ke 10 mulai pengaktifkan blower pada menit ke 150 penambahan bahan bakar sebanyak 1 kg, puncak tertinggi temperaturnya mencapai 704°C (dalam ruang bakar), pada menit ke 170 dan penghentian blower pada menit 180 terakhir pengambilan data hasil uji pembakaran tungku penukar kalornya yang menggunakan bahan bakar biomassa (tempurung kelapa). Dengan temperatur 405°C (dalam ruang bakar), 100°C (output pipa spiral), 81°C (dinding luar tungku). Hasil uji – II. Pembakaran tungku penukar kalor juga dapat di lihat pada gambar grafik 6

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Setelah melakukan rancang bangun, mekanisme Rancang Bangun Tungku Penukar kalor Menggunakan Pipa Spiral Dengan Bahan Bakar Biomassa, penulis dapat mengambil kesimpulan :

1. Tungku penukar kalor hasil rancangan ini memiliki bagian-bagian antara lain, ruang pembakaran, tempat bahan bakar, pipa spiral, pipa cerobong asap, pipa penyuplai udara dari *blower* ke dalam ruang bakar, pipa penghubung dan *blower*.
2. Dari hasil pengujian, tungku penukar kalor ini memiliki keunggulan dalam proses pembakaran karna ruang bakar (*furnace*) disesuaikan dengan karakteristik bahan bakar biomassa yang digunakan untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna yang memiliki nilai kalor cukup sempurna untuk hasil yang diinginkan.
3. Bahan bakar yang digunakan sangat sedikit dalam waktu 5 (jam) hanya menghabiskan bahan bakar 11 kg tempurung kelapa, dengan temperature dalam tungku pembakaran rata-rata 340 °C, dalam output pipa rata-rata 189 °C. Temperatur tertinggi yang dihasilkan mencapai 704°C (dalam ruang bakar), 402°C (dalam pipa spiral/output udara panas), dan 0,81 °C (dinding luar isolasi).

4. Penyuplai udara panasnya ke dalam oven pengering biji pala dengan target yang diperlukan oven rata-rata antara 60°C-80°C cukup sempurna, sehingga oven pengering biji pala bisa beroperasi selama lima (5) jam dengan bahan bakar biomasa tempurung kelapa hanya menghabiskan 11 kg untuk mengeringkan, menurunkan kelembaban pada biji pala.

Dari hasil penelitian dilapangan petani pala mengeringkan biji pala hasil perkebunannya hanya dengan memanfaatkan panas matahari yang bisa menghabiskan waktu sampai beberapa hari pada saat musim kemarau. Dan bisa menghabiskan waktu lebih satu pekan/minggu pada saat musim penghujan (sumber; wawancara dengan beberapa petani pala. Meukek, 20/07/2019. Aceh Selatan). Dengan adanya tungku penukar kalor ini dapat membantu dan memberi solusi untuk petani pala, yang hanya hitungan jam bisa mengeringkan/menurunkan kelembaban biji pala dengan jumlah yang diinginkan dan tanpa terhambat dengan cuaca, musiman.

Saran

Diharapkan tungku penukar kalor ini dapat lebih dikembangkan lagi, baik dari segi fungsi maupun aplikasi serta implementasi yang lebih baik dan luas, seperti :

1. Fungsi dari tungku penukar kalor diharapkan bisa diperluas lagi supaya tidak hanya untuk mengeringkan oven biji pala, tapi bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi lain dalam pengaplikasian tungku bakar.
2. Meningkatkan hasil produksi dari tungku penukar kalor,
3. dapat dikembang luaskan dengan lebih modern dalam dunia industri-industri kecil.
4. Tungku penukar kalor ini juga diharapkan dapat dikembangkan lagi dan dapat menjadi alternatif bagi industri-industri menengah, terutama industri-industri kecil.

DAFTAR PUSTAKA.

<https://drive.google.com/file/d/1rPFMCIRY3KRrWof1tc->

[_KcFR101ncrnI/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1rPFMCIRY3KRrWof1tc-KCcFR101ncrnI/view?usp=sharing)(Ditjenbun.pertanian.go.id/pojok-media/publikasi/

(Diakses pada tanggal 02 Desember 2019).

<https://benergi.com/energi-biomassa-sebagai-energi-terbarukan> (Energi biomassa sebagai energi terbarukan. Diakses pada tanggal 02 Desember 2019)

Ahmad, saiful Prasetyo, Eko B., Widodo, P. J. (2014). Simulasi Numerik Perpindahan Panas Pada Dinding Tungku Pembakaran Lapis Banyak berongga Udara Dengan Metode Beda Hingga, 1–7. Retrieved from digilib.uns.ac.id (Diakses 02 Desember 2019)

Imam kholiq (2015). Pemanfaatan energi alternative sebagai energi terbarukan. Jurnal IPTEK. Vol.19 No 2.

Bambang.Y, (2010). Desain Tungku bakar rendah polusi untuk industri kecil dan masyarakat pedesaan.' UNDIP, Semarang.

Wahyudi (2006) Penelitian Nilai Kalor Biomassa:Perbandingan antara Hasil Pengujian dengan Hasil Perhitungan. Jurnal ilmiah semesta Teknika, Vol. 9 (208-220).