

## OPTIMASI PEMANFAATAN PANAS BUANG PADA TUNGKU GASIFIKASI BIOMASA SEBAGAI PENGHASIL LISTRIK

**Abrar R<sup>1</sup>, M.Ridha Fauzi<sup>2</sup>, Budi Istana<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Riau

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Riau

Email : [abrarridwan@gmail.com](mailto:abrarridwan@gmail.com).

### Abstrak

*Teknologi hemat energi dan ramah lingkungan adalah isu fundamental pada saat ini. Sementara bahan bakar energi baru-terbarukan biomasa sangat mungkin digunakan. Telah dibuat tungku gasifikasi biomasa berbahan bakar kayu dengan dudukan elemen peltier sebanyak 6 buah pada pengujian 2 kg kayu. Output tegangan tertinggi yang dihasilkan 2,48 volt pada menit ke-60 dengan rangkaian seri dan selisih temperatur ( $\Delta T$ ) 33,28 °C, sedangkan arus yang tertinggi sebesar 0,24 ampere pada menit ke-40 dengan ( $\Delta T$ ) 42,06 °C dengan rangkaian seri. Untuk mempertahankan sisi dingin, termoelektrik ditempelkan dengan kondenser pendingin air bertemperatur 29 °C. Pada ruang celah antara dudukan termoelektrik dengan dinding tungku diisi dengan coran. Optimasi ini berhasil dibandingkan dengan pengujian sebelumnya yang mempunyai ( $\Delta T$ ) 45 °C didapat output tegangan 0,5 V dan arus 0,44 mA data tersebut adalah nilai minimum untuk menggerakkan dinamo kipas dengan susunan rangkaian 4 buah elemen peltier pada rangkaian paralel dimana kondisi tersebut tercapai setelah 45 menit, sehingga sangat dimungkinkan untuk menambah jumlah termoelektrik, perancangan letak dan kedudukan yang lebih tepat agar didapat output tegangan dan arus yang besar.*

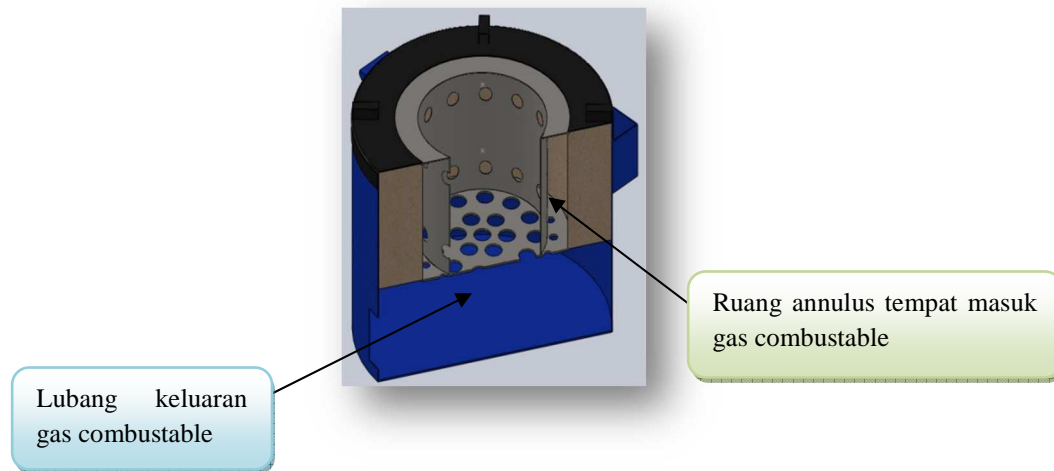
**Kata kunci :** *gasifikasi biomasa, efisiensi termal, termoelektrik, seri,dan paralel*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Provinsi Riau merupakan daerah yang kaya akan sumber daya biomasa sebut saja kabupaten Indragiri Hilir yang merupakan kabupaten penghasil buah kelapa terbesar di Indonesia. Letak geografis yang berdekatan dengan negara Singapura berpotensi maraknya *illegal marketing* ke negara tersebut. Cangkang kelapa yang menjadi limbah rumah tangga sangat prospektif untuk menjadi bahan bakar tungku biomasa dengan nilai kalori 23012 kJ/kg. Begitu juga dengan luas areal hutan 8.598.757 Ha berpotensi untuk bahan bakar biomasa kayu dimana kabupaten Rokan Hulu yang merupakan daerah penghasil terbesar kelapa sawit di provinsi Riau yaitu 380.281 Ha [Badan Pusat Statistik 2010]. Disamping itu banyak masyarakat yang berada di daerah terisolir masih sulit untuk mendapatkan bahan bakar fosil dan gas LPG, begitu juga dengan fenomena mati lampu yang sering terjadi serta krisis energi yang berkepanjangan di negeri ini sehingga mengharuskan kita mencari energi alternatif. Penggunaan tungku gasifikasi biomasa dan pemanfaatan panas buangnya adalah salah satu langkah jitu untuk menjawab semua tantangan diatas. Penggunaan bahan bakar kayu untuk memasak oleh masyarakat Riau sering dilakukan sehingga kebutuhan kayu semakin meningkat. Oleh sebab itu perlu dilakukan penghematan yaitu dengan membuat sistem pembakaran ulang dari gas hasil pembakaran atau yang lebih dikenal dengan tungku gasifikasi. Perpindahan panas yang terjadi di dinding tungku dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik dengan media termoelektrik, sehingga kenyamanan dalam masak tercipta dikarenakan panas dinding tungku direduksi oleh elemen termoelektrik. Potensi pemanfaatan panas buang pada tungku pembakaran sangat jarang dilakukan, padahal panas hasil pembakaran sangat tinggi temperaturnya. Untuk meningkatkan efisiensi tungku gasifikasi biomasa perlu dilakukan teknik konversi energi panas menjadi listrik.

Pada penelitian ini akan dilakukan optimasi pemanfaatan panas buang pada tungku gasifikasi biomasa sebagai penghasil listrik.



**Gambar 1. Tungku gasifikasi biomasa tampak samping**

### 1.2. Tungku Gasifikasi Biomasa

Tungku gasifikasi biomasa yang akan digunakan merupakan tungku berbahan bakar kayu padat. Bahan biomasa adalah semua yang berasal dari makhluk hidup, seperti kayu, cangkang kelapa sawit, tumbuh-tumbuhan, daun-daunan, rumput, limbah pertanian, limbah rumah tangga, sampah dan lain-lainnya. Komponen terpenting biomasa yang digunakan untuk pembakaran adalah selulosa dan ligno-selulosa. Hasil penelitian yang dilakukan efisiensi termal tungku modifikasi (sistem gasifikasi) lebih besar yaitu 14,7 % dibandingkan tradisional dengan nilai 4,2 %.<sup>[2]</sup> Sistem gasifikasi merupakan pemanfaatan gas yang mudah terbakar (*synthetic gas*) yang dihasilkan pada zona gasifikasi kemudian dialirkan kembali ke ruang bakar sehingga terbentuk api biru yang menghasilkan panas yang baik.

### 1.3. Analisa Efisiensi Termal Tungku

Agar dapat mengetahui tingkat performansi tungku perlu dihitung nilai efisiensi termal tungku. Dalam perhitungan efisiensi tungku, data yang diperlukan adalah sebagai berikut :

- a) Massa bahan bakar terpakai untuk pengujian  $m_f$  (kg)
- b) Nilai kalor bahan bakar  $C$  (kkal/kg)
- c) Massa air awal  $m_w$  (kg)
- d) Massa air terevaporasi  $m_v$  (kg)
- e) Temperatur awal air  $T_1$  ( $^{\circ}\text{C}$ )
- f) Temperatur air mendidih  $T_2$  ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- g) Waktu awal penyalaan (menit)
- h) Waktu awal air mendidih (menit)
- i) Waktu akhir pembakaran (menit)
- j) Berat bahan bakar (arang) sisa  $m_2$  (kg)

Persamaan efisiensi tungku adalah :

$$\eta = \frac{m_w * C * (T_2 - T_1) + m_p * R}{m_f * B} \times 100 \% \quad [\text{Baldwin F. Samuel}]$$

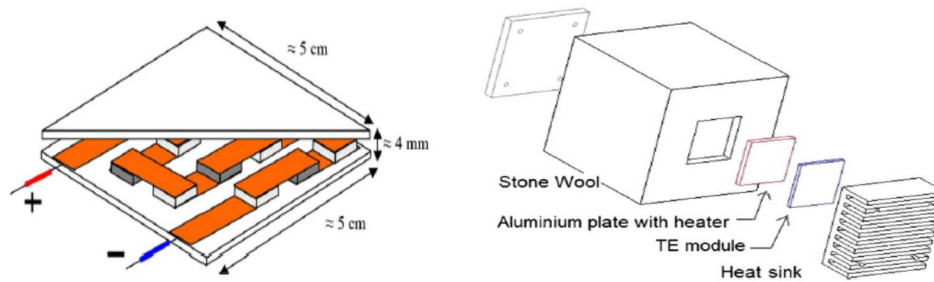
$$C = 4.2 \quad \text{kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$R = 2256.9 \quad \text{kJ/kg}$$

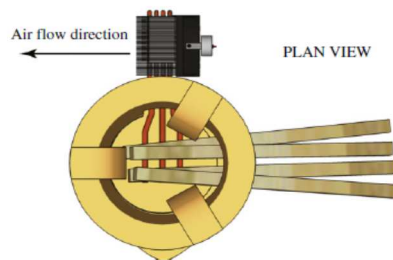
$$B = 18.730 \quad \text{kJ/kg}$$

**1.3. Termoelektrik Generator**

Termoelektrik generator merupakan kepingan keramik yang dapat mengkonversi langsung perbedaan temperatur menjadi tegangan listrik atau lebih dikenal dengan efek *Seebeck*, prinsip kerja dari termoelektrik adalah dengan berdasarkan *Efek Seebeck* yaitu jika 2 buah logam yang berbeda disambungkan salah satu ujungnya, kemudian diberikan suhu yang berbeda pada sambungan, maka terjadi perbedaan tegangan pada ujung yang satu dengan ujung yang lain. Umumnya bahan yang digunakan adalah bahan semikonduktor. Semikonduktor adalah bahan yang mampu menghantarkan arus listrik namun sifat konduktivitas termalnya tidak bagus. Permasalahan yang terdapat pada Termoelektrik adalah sulitnya mendapatkan bahan yang mampu bekerja pada suhu tinggi. Semikonduktor yang digunakan adalah semikonduktor tipe n dan tipe p. Bahan semikonduktor yang digunakan adalah bahan semikonduktor *ekstrinsik*.



**Gambar 2. Modul dan cara kerja Efek Seebeck [Bryden, M., Still, 2005 ]**

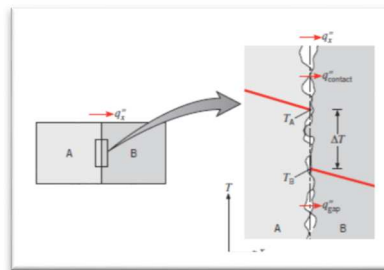


**Gambar 3. Proses peletakkan pada tungku pembakaran [S.M. O’Shaughnessy, 2013]**

Pembangkit daya termoelektrik mempunyai keuntungan mudah dalam perawatan, tidak bising, bisa dibawa kemana-mana dan instalasi komponen yang tidak rumit [<http://www.transportation.anl.gov/software/GREET/index.html>]. Pemanfaatan panas pada tungku dengan termoelektrik banyak mendatangkan manfaat, seperti terhindarnya kontak panas yang memasak dengan dinding tungku dan air sebagai media pendingin disisi dingin termoelektrikpun dapat digunakan sebagai air hangat. Pada penelitian ini proses perancangan alat konversi panas menjadi listrik menggunakan elemen dispenser jenis TEC tipe 12706 elemen ini mudah didapat dan juga harganya murah, akan tetapi elemen ini akan rusak bila sisi panas mencapai diatas 138 °C [[www.hebeiltd.com.cn](http://www.hebeiltd.com.cn)] dengan kemampuan operasi 200.000 jam dibandingkan TEG

(*Thermoelectric generator*) yang harus diimpor dan sulit mendapatkannya, sebaliknya untuk mendapatkan hasil keluaran daya maksimum perlu dirancang ruangan yang tidak melebihi temperatur tersebut. Untuk memastikan akan adanya aliran listrik yang disebabkan perbedaan temperatur maka pe rlu dipasang kipas kecil. Pada penelitian yang dilakukan Abrar dan Budi (2013) kipas berputar setelah temperatur dinding tungku mencapai temperatur 100 °C dengan sisi dingin 32 °C dimana kondisi tersebut berada pada tegangan 1,23 V dan arus 60 mA. Kondisi tersebut tercapai pada menit ke-30. Setelah menit tersebut terjadi peningkatan temperatur sampai temperatur maksimum dinding yaitu 114 °C. Pada pengujian berikutnya suhu sisi panas 83 °C dan sisi dingin 38 °C yang mempunyai selisih 45 °C didapat hasil tegangan 0,5 V dan arus 0,44 mA data tersebut adalah nilai minimum untuk menggerakkan dinamo kipas dengan susunan rangkaian 4 buah elemen peltier pada rangkaian paralel. Kondisi tersebut tercapai setelah 45 menit<sup>[3]</sup>. Untuk meletakkan elemen peltier ( *thermoelektrik cooler* ) perlu disain dudukan yang berada diluar tungku agar elemen peltier tidak rusak akibat temperatur panas yang terlalu tinggi di dalam tungku. Bahan dudukan terbuat dari bahan *zinc* dengan konduktivitas termal 247 W/m<sup>2</sup> °C. Dudukan termoelektrik tidak boleh dipatri dikarenakan pada temperatur 140 °C dudukan yang dipatri akan lepas. Sekrup yang dibuat pada dudukan termoelektrik harus diletakkan 2 buah disisi kiri, 2 buah disisi kanan dan 4 buah pada bagian tengah hal tersebut untuk menjaga kesempurnaan ke-empat tempelan termoelektrik.

Pasta termal dioleskan pada keseluruhan permukaan peltier dengan tujuan membantu kesempurnaan kontak perpindahan kalor. Pengolesan ini dilakukan diseluruh permukaan sisi panas dan sisi dingin peltier. Hal ini perlu dilakukan karena permukaan baik maupun peltier tidak sepenuhnya rata. Bila terdapat rongga antara permukaan yang bersentuhan seperti permukaan sisi panas atau dingin dengan maka panas yang diberikan akan terhambat dikarenakan adanya proses konveksi dirongga tersebut yaitu adanya medium udara. Dengan adanya pasta termal dapat meningkatkan konduktivitas termal antarmuka. Akan tetapi penggunaan berlebihan pasta termal tersebut dapat mencegah kontak antarmuka dan terjadi sebaliknya, konduktivitas termalnya berkurang. Umumnya pasta termal terbuat dari silicon dengan tambahan ZnO yang menghasilkan performa yang baik.



**Gambar 4. Rongga dua plat ketika dilihat secara mikroskopik.**

Rongga kosong, sehingga efisiensi kontak termal tungku dan termoelektrik berkurang

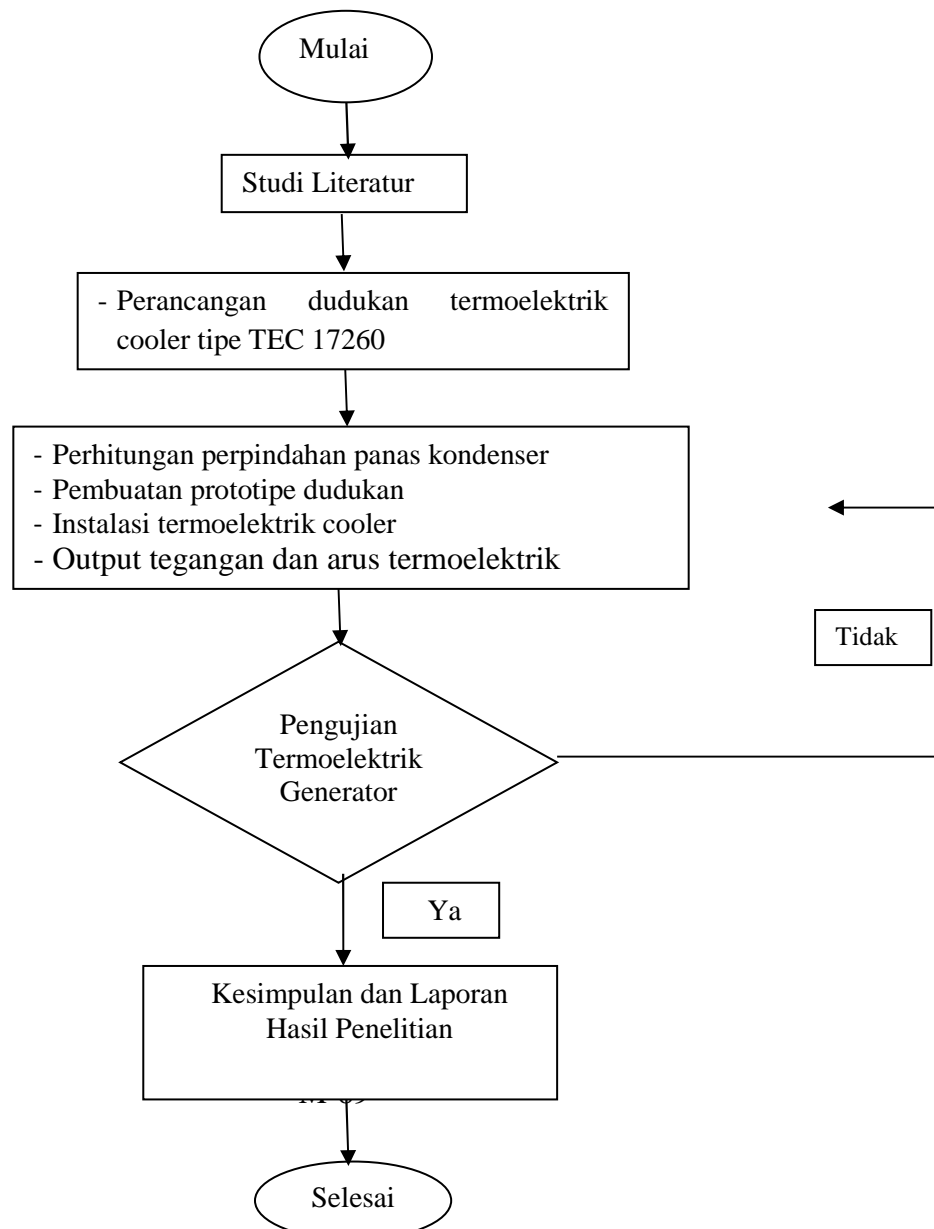


**Gambar 5. Tungku gasifikasi biomasa dengan instalasi 4 buah elemen pelitier.**

Dari hasil penelitian sebelumnya masih diperlukan optimasi disain dudukan variasi rangkaian seri dan paralel serta penambahan jumlah elemen peltier yang dapat membangkitkan daya yang lebih besar. Pada gambar tungku gasifikasi diatas terdapat ruang annulus yang merupakan tempat gas *volatile* mengalir. Sistem pembakaran secara *diffused* (baur) merupakan sistem pembakaran dimana api muncul dari bintik-bintik kecil lobang disekeliling tabung bakar bagian dalam, seperti tungku minyak tanah. Ini berbeda dengan sistem pembakaran mengarah (*concentrated*), dimana api terkonsentrasi pada satu arah dari satu posisi tertentu. Sistem pembakaran *diffused* sangat bagus untuk tungku dengan aliran udara alami, sedangkan sistem *non-diffused* bagus bila ada aliran udara terpaksa, misalkan yang menggunakan blower.<sup>[8]</sup>

**2. METODOLOGI****2.1. Metode Penelitian**

Untuk mempermudah proses penelitian perlu adanya skema alur penelitian dan prosedur pengambilan data.



## Gambar 6. Flowchart Alur Penelitian

### 2.2 . Alat dan Instrumentasi Penelitian

Pada penelitian ini alat ukur yang digunakan adalah :  
DAQ merek Advantech 4718 dengan 8 port untuk mengukur temperatur, dengan program display Labview 7.1 dan komputer merek Asus.



Gambar 7. Alat akuisisi data dan DAQ Advantech 4718



Gambar 8. Multimeter Clarke CDM 45

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Perancangan Tungku Gasifikasi

Pada perancangan tungku gasifikasi diperlukan modifikasi pembuatan tabung bagian dalam dengan lobang bagian atas dan bawah pada tabung tersebut yang bertujuan untuk mensuplai udara

sekunder dan berbaur langsung dengan asap (*syngas*) sehingga masuk ke ruang pembakaran langsung. Asap dapat bersirkulasi dari bawah keatas atau keluar dari lobang sekelilingnya. Pada tabung bagian dalam pembakaran terdapat tekanan dan temperatur yang tinggi dimana temperatur bisa mencapai 560 °C. Dari hasil pembakaran tungku dengan berat bahan bakar 1 kg dengan 1 liter air pada temperatur 100 °C dapat dicapai pada menit ke 6, hal ini lebih cepat dibandingkan dengan bahan bakar briket yang dicapai pada menit ke 15.

**3. 2. Analisa dan Perpindahan Panas Tungku Gasifikasi**

Untuk mendapatkan laju perpindahan kalor pada titik tengah tungku menuju dinding luar perlu dilakukan perhitungan dimensi tungku dimana :

**Tabel 1. dimensi tungku gasifikasi biomasa**

Deskripsi	Nilai Perhitungan	Keterangan
r1 (m)	0,074	
r2 (m)	0,075	
r3 (m)	0,107	
r4 (m)	0,149	
r5 (m)	0,150	
Temperatur dalam tungku (°C)	850	
Temperatur luar tungku (°C)	30	
Ketebalan isolator (m)	0,04	
Konduktivitas termal batu api (W/m °C)	1,37	
Konveksi udara dalam tungku (W/m <sup>2</sup> °C)	25	
Konveksi udara annulus tungku (W/m <sup>2</sup> °C)	15	
Konveksi udara luar tungku (W/m <sup>2</sup> °C)	20	
Tinggi tungku (m)	0,4	
<b>Laju perpindahan kalor (w)</b>	<b>5,831</b>	

Tampak penutup antara tabung dalam dengan tabung

luarnya. Dengan harapan udara dan asap tidak keluar dari sisi samping melainkan masuk kembali ke ruang bakar agar terjadi pembakaran ulang. Gambar dibawah adalah proses gasifikasi pada lobang-lobang, tampak hasil pembakaran lobang tersebut api berwarna biru yang artinya lidah api yang menyentuh lobang mendapatkan suplai bahan bakar tambahan dari asap yang berasal dari sisa pembakaran tidak sempurna dan bersirkulasi di ruang annulus tungku serta keluar yang disebabkan oleh tarikan lidah api dari pembakaran kayu.



**Gambar 8. Proses Gasifikasi**

Dengan proses gasifikasi api hasil pembakaran akan menjadi biru sehingga akan memberi panas yang besar dibandingkan api yang berwarna kuning, proses gasifikasi akan tampak lebih jelas setelah bahan bakar biomasa sebagian menjadi arang dan berada pada tempertur pyrolysis

yaitu 400 °C - 600 °C . Hal ini berbeda jika pembakaran tanpa gasifikasi seperti terlihat pada gambar dibawah ini :



**Gambar 9. Pembakaran Tanpa Proses Gasiifikasi**

Fenomena pembakaran diatas tidak seperti gambar sebelumnya, hal ini disebabkan sebagian besar asap dari hasil pembakaran langsung beterbangan keluar keatas sementara gambar pembakaran sebelumnya diantara tabung bagian dalam dengan dinding dalam tungku ditutup sehingga asap sisa pembakaran terjebak di ruang annulus sehingga terpaksa keluar melewati lobang-lobang yang juga merupakan gas *combustable* ( gas yang mudah terbakar ). Gas yang panas akan naik keatas dikarenakan densitasnya lebih rendah dibandingkann dengan udara lingkungan sehingga mengakibatkan proses aliran alamiah. Dengan bantuan kipas termoelektrik sebagai suplai oksigen maka komposisi gas tersebut dibakar sehingga akan menambah nilai panas pada pembakaran.

### 3. 2. Analisa Efisiensi Termal Tungku

Dari tabel dibawah ini didapat efisiensi termal tungku sebesar 10,6% dimana efisiensi ini dapat menghemat bahan bakar kayu sebesar 10,6% dibandingkan menggunakan tungku kayu tanpa gasifikasi.

**Tabel 3.1 sifat – sifat fisik dan efisiensi termal pembakaran.**

No	Parameter	Tungku Modifikasi
1	Massa bahan bakar terpakai pengujian $m_1$ (kg)	1
2	Nilai kalor bahan bakar C (kkal/kg)	17,7
3	Massa air awal $m_w$ (kg)	1
4	Berat air sisa $m_v$ (kg)	0,3
5	Temperatur awal air $T_1$ (°C)	28
6	Temperatur air mendidih $T_2$ (°C)	99
7	Waktu awal penyalaan (menit)	0,083
8	Waktu awal air mendidih (menit)	10
9	Waktu akhir pembakaran (menit)	65
10	Berat bahan bakar (arang) sisa $m_2$ (kg)	0,20
<b>Efisiensi thermal</b>		<b>10,6 %</b>

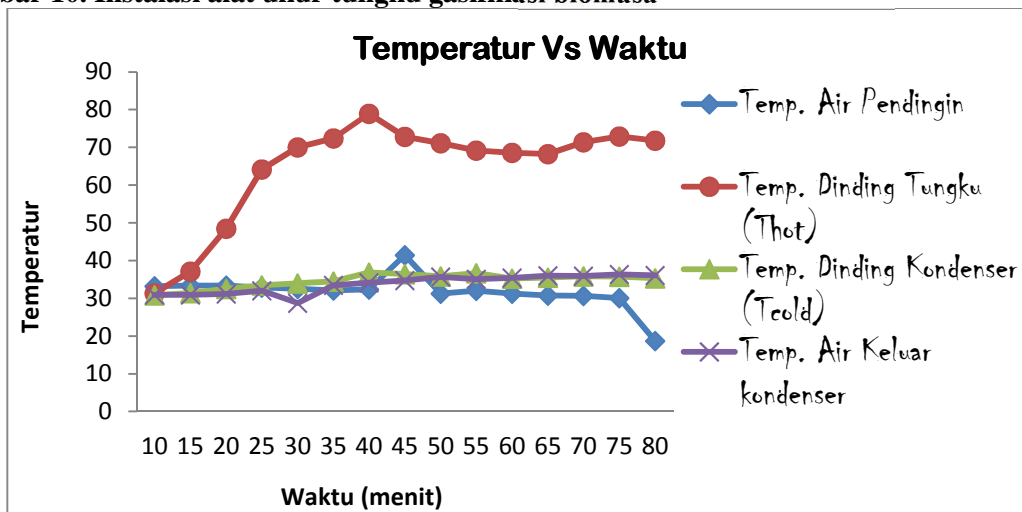
### 3.3. Analisa Termoelektrik



Pada penelitian ini alat konversi panas menjadi listrik menggunakan elemen dispenser atau yang disebut dengan TEC hal ini dikarenakan sulitnya mendapatkan TEG dan harus diimpor, jenis TEC yang digunakan adalah tipe 12706 selain elemen ini mudah didapat dan juga harganya murah elemen ini juga bisa didapat dari dispenser bekas dan cenderung akan rusak bila sisi panasnya mencapai diatas 200 °C, maka perlu dirancang ruangan yang tidak melebihi temperatur tersebut. Untuk memastikan akan adanya aliran listrik yang disebabkan perbedaan temperatur mak perlu dipasang kipas kecil. Kipas berputar setelah temperatur dinding tungku mencapai temperatur 100 °C dengan sisi dingin 32 °C dimana kondisi tersebut tegangan 1,23 v dan arus 60 mA. Kondisi tersebut tercapai pada menit ke-30. Setelah menit tersebut terjadi peningkatan temperatur sampai temperatur maksimum dinding yaitu 160 °C.



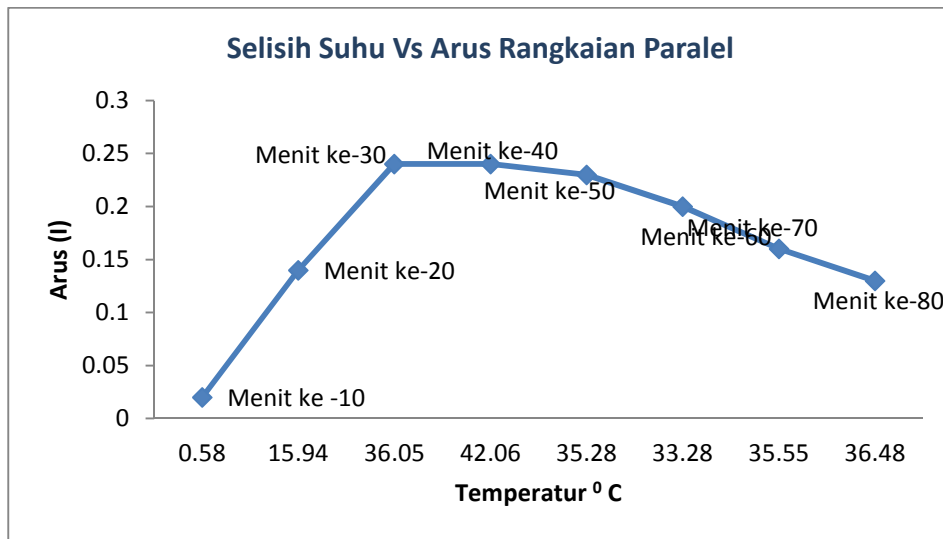
Gambar 10. Instalasi alat ukur tungku gasifikasi biomasa



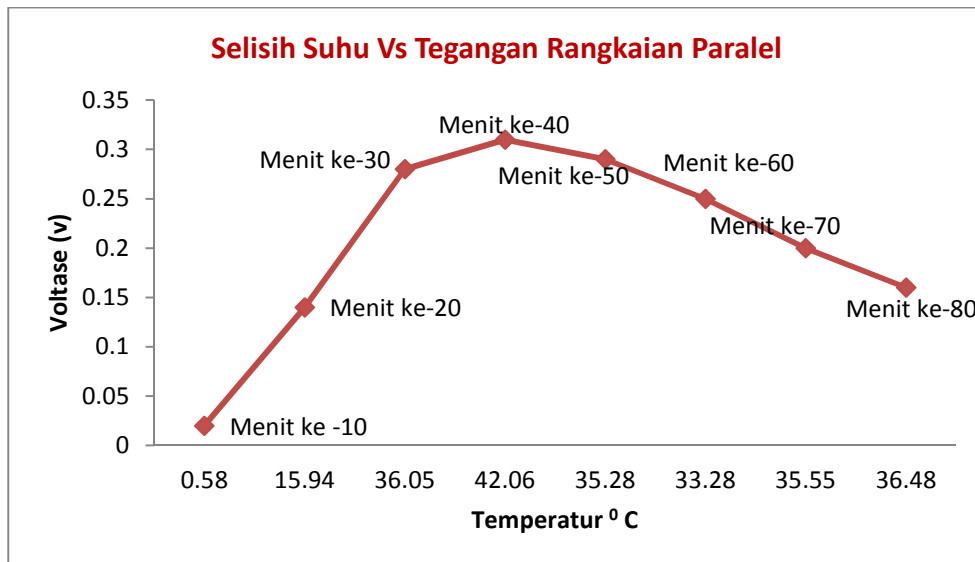
Gambar 11. Grafik hubungan temperatur dengan waktu

Dari grafik diatas didapat  $\Delta T$  yang tertinggi yaitu pada selisih temperatur dinding tungku dan dinding kondenser pada menit ke-40 sebesar 42,06 °C. Kondisi tersebut adalah nilai tertinggi untuk output arus (I) 0,24 ampere dan output tegangan 0,31 volt untuk rangkaian paralel seperti yang ditunjukkan pada gambar 12, 13, 14 dan 15.

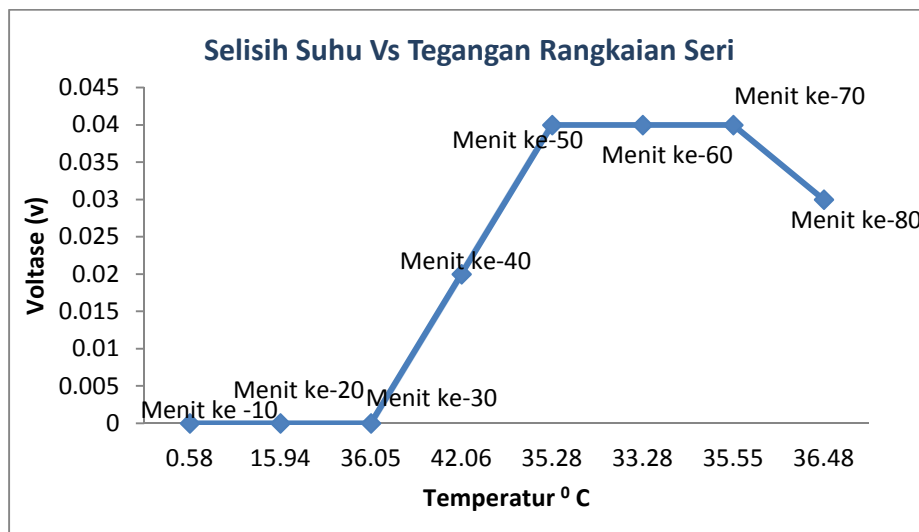
Sementara untuk rangkaian seri selisih temperatur ( $\Delta T$ ) yang tertinggi terdapat pada menit ke-60 pada selisih temperatur 33,28 °C dengan besaran arus output (I) 0,02 ampere dan tegangan output 2,48 volt hal ini sesuai dengan pola rangkaian dimana tegangan (v) akan besar ketika rangkaian dibuat seri dan arus (I) akan naik ketika rangkain menjadi paralel. Performansi keluaran arus dan tegangan pada tungku gasifikasi adalah pada menit ke-40 disaat rangkaian dibuat paralel dan di menit ke-70 ketika rangkaian dibuat seri. Proses pembakaran pada tungku gasifikasi biomasa menggunakan bahan bakar 2 kg kayu dengan lama pembakaran 2 jam 40 menit. Grafik hubungan Temperatur pada sisi panas dan dingin dengan rangkaian paralel



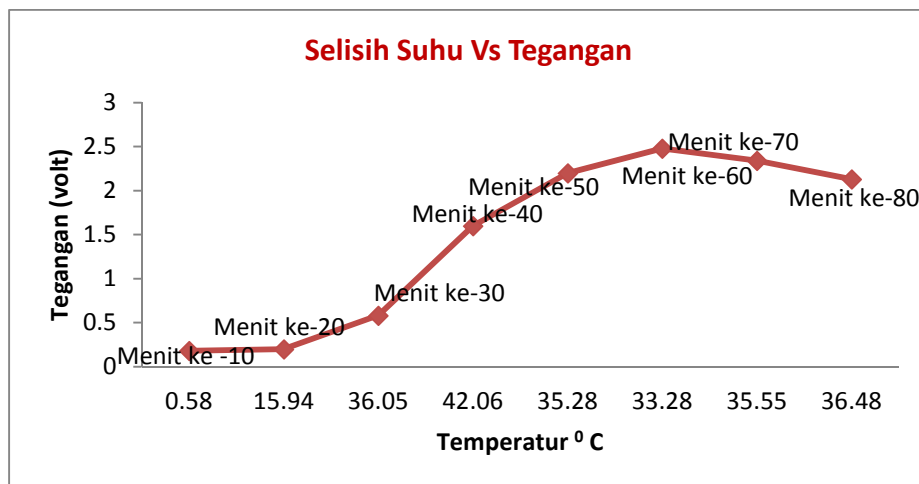
Gambar 12. Grafik selisih temperatur terhadap arus pada rangkaian paralel



Gambar 13. Grafik selisih temperatur terhadap tegangan pada rangkaian paralel.



Gambar 14. Grafik selisih temperatur terhadap arus pada rangkaian seri



Gambar 15. Grafik selisih temperatur terhadap tegangan pada rangkaian seri

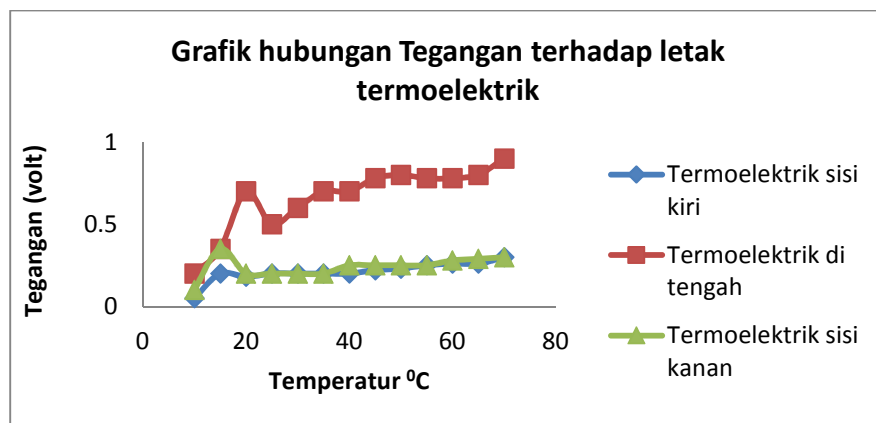


Gambar 16. Manufaktur tungku gasifikasi biomasa beserta ruang *feedstock*

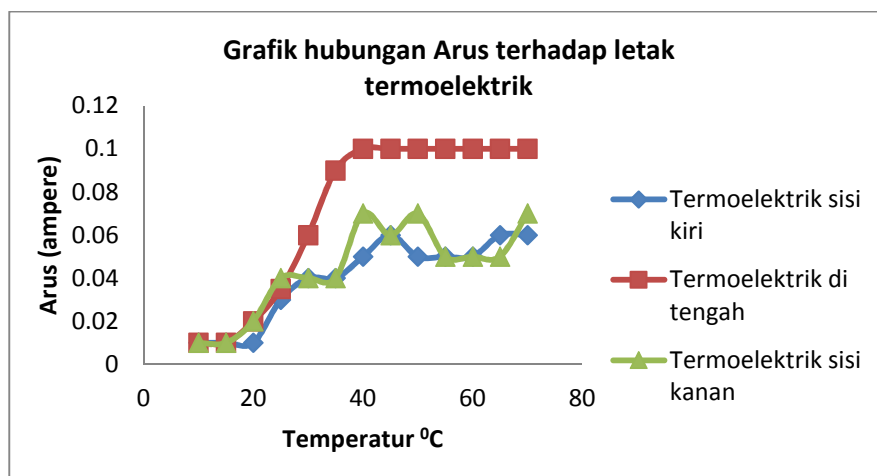
Manufaktur dudukan elemen termoelektrik sangat susah didesain, hal ini dikarenakan distribusi panas pada sisi samping elemen termoelektrik akan berbeda dengan posisi elemen termoelektrik yang ada dibagian tengahnya seperti yang ditunjukkan pada gambar 18 dan 19 dari grafik output tegangan dan arus pada posisi tengah termoelektrik yaitu pada posisi termoelektrik disisi kiri, tengah dan kanan sebesar 0,21 volt, 0,67 volt dan 0,24 volt dan output arus 0,04 ampere, 0,07 ampere dan 0,045 ampere. Untuk mengoptimalkan kontak panas termoelektrik di sisi kiri dan kanan maka daerah yang kosong diisi dengan batangan coran dari timah.



Gambar 17. Coran timah agar kontak dinding tungku optimal dengan termoelektrik



Gambar 18. Grafik hubungan output tegangan pada posisi termoelektrik yang berbeda



### Gambar 19. Grafik hubungan output arus pada posisi termoelektrik yang berbeda

Pembuatan dudukan elemen termoelektrik yang sesuai dengan kontur tungku adalah sangat penting untuk mendapatkan arus dan tegangan maksimum dari TEC tipe 17206 dimana arus maksimum dari satu elemen tersebut adalah 6 ampere dengan jumlah kaki p dan n 172 buah, anggap efisiensi konversi energi listrik 80 % sehingga output arus (I) maksimum per elemen termoelektrik adalah 4,8 ampere sehingga masih terdapat kekurangan  $\pm 86\%$  konversi energi yang hilang dikarenakan kontak termal yang kurang bagus dan efisiensi termoelektrik yang menurun.

#### 4. KESIMPULAN

1. Pemanfaatan panas terbuangkan pada tungku gasifikasi menjadi energi listrik adalah salah satu langkah penghematan bahan bakar.
2. Sistem gasifikasi pada tungku disebabkan *gas combustable* ( bahan bakar ) yang terperangkap diruang annulus dialirkan keluar melalui lubang dan berakhir di ruang pembakaran.
3. Output tegangan tertinggi yang dihasilkan 2,48 volt pada menit ke-60 dengan rangkaian seri dan selisih temperatur ( $\Delta T$ ) 33,28 °C, sedangkan arus yang tertinggi sebesar 0,24 ampere pada menit ke-40 dengan ( $\Delta T$ ) 42,06 °C dengan rangkaian paralel.

#### 5. SARAN

1. Pada alat ukur termokopel tipe K perlu ditekan agar hasilnya lebih akurat
2. Meletakkan dua bidang sisi dingin dan panas termoelektrik dengan tepat dan sejajar mempengaruhi efisiensi konversi tegangan listrik sehingga diperlukan disain dudukan termoelektrik yang sesuai dengan kontur dinding tungku
3. Perlu perbaikan rancangan ruang pembakaran untuk mengoptimalkan proses gasifikasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abrar.R, Japri, A. Kafrawi. Perancangan Tungku Hemat Energi dan Ramah Lingkungan Pada Tungku Masyarakat Berbahan Bakar Kayu. Hibah Bersaing DIKTI 2012.
- Abrar Ridwan, Budi Istana. Rancang bangun tungku gasifikasi biomasa hemat energi dan ramah lingkungan penghasil listrik. Hibah Balitbang Bengkalis 2013.
- Ardian. R; Nandy Putra.,Dr.Ing “ Perancangan Awal dan Manufaktur Thermoelektrik Generator menggunakan dua belas modul Thermoelektrik untuk aplikasi kendaraan Hibrid.”Badan Pusat Statistik Provinsi Riau “ Riau dalam angka 2010” Badan Pusat Statistik 2010.
- Biomasa Energi Data Book, [http://cta.ornl.gov/bedb/appendix\\_b.shtml](http://cta.ornl.gov/bedb/appendix_b.shtml).
- Baldwin F. Samuel Biomasa stove : engineering design VITA 1600 Wilson Boulevard, Suite 500 Arlington, Virginia 22209 USA.
- Bryden, M., Still, D., Scott, P., Hoffa, G., Ogle, D., Bailis, R., and Goyer, K., 2005. Design Principles for Wood Burning Cook Stoves, Aprovecho Research Center/Shell Foundation/Partnership for Clean Indoor Air, USEPA EPA-402-K-05\_004.
- CDM, Simplified Project Design Documents for small scale project activities, CDM Cookstove project Kupang 1, Indonesia, 2006.
- GREET Transportation Fuel Cycle Analysis Model, GREET 1.8b, developed by Argonne National Laboratory, Argonne, IL, released May 8, 2008. <http://www.transportation.anl.gov/software/GREET/index.html>.

- Intergovernmental Panel on Climate Change, “ 2006 IPCC Guidelines for National greenhouse Inventories”, Vol 2, 2006.
- Michael J. Moran dan Howard N. Shapiro 2004, (2005), “ Termodinamika Teknik Jilid 2”, Jakarta : Erlangga , 2004.
- Mark Bryden Dr, Dean Still, Peter Scott, Geoff Hoffa, Damon Ogle, Rob Bailis, Ken Goyer “Design principles for world burning stove” Aprovecho Research Center Shell Foundation Partnership For Clean Indoor Air.
- M. Nurhuda Dr.Rer.nat. “ *tungku biomasa UB mendukung terwujudnya target penurunan emisi 26 % dan kemandirian energi* “ Universitas Brawijaya Malang 2009.
- S.M. O’Shaughnessy , M.J. Deasy , C.E. Kinsella, J.V. Doyle, A.J. Robinson Small scale electricity generation from a portable biomass cookstove: Prototype design and preliminary results 2013.