

RANCANG BANGUN TUNGKU GASIFIKASI BIOMASA HEMAT ENERGI DAN RAMAH LINGKUNGAN PENGHASIL LISTRIK

Abrar Ridwan, Budi Istana,

Fakultas Teknik UMRI
Email: ridwanabrar@yahoo.com

ABSTRAK

Provinsi Riau merupakan daerah yang kaya akan sumber daya biomasa salah satunya adalah kabupaten Bengkalis, dimana hampir 80% penduduknya masih menggunakan tungku berbahan bakar kayu untuk memasak, sementara untuk mendapatkan bahan bakar fosil dan gas elpiji sangat sulit. Telah dilakukan penelitian dan uji eksperimental perancangan dan pembuatan tungku gasifikasi biomasa penghasil listrik dengan memanfaatkan panas buang sekelilingnya. Diameter dalam tungku 14,8 cm dan diameter luar 21,4 cm dengan diameter ruang annulus 66 cm, tinggi tungku 50 cm. Alat ukur temperatur menggunakan termokopel tipe K dan dengan data akuisisi Advantech DAQ 4718. Tungku dapat menghasilkan listrik dengan pemanfaatan panas buang pada temperatur sisi panas $T = 100^{\circ}\text{C}$ dengan temperatur sisi dingin 32°C dimana tegangan termoelektrik $\pm 1,2\text{ V}$ dan arus $\pm 60\text{ mA}$. Tungku dapat membakar ulang hasil pembakaran melalui lobang di sekeliling tabung dalam sehingga terjadi gasifikasi. Efisiensi termal tungku adalah 10,7 % yaitu dapat mendidihkan 1 kg air pada menit ke-10 dengan berat bahan bakar kayu 1 kg.

Kata Kunci: Tangki, Biomassa, Termoelektrik, Gasifikasi, Efisiensi Thermal

1. PENDAHULUAN

Provinsi Riau merupakan daerah yang kaya akan sumber daya biomasa salah satunya adalah kabupaten Bengkalis yang mempunyai lahan sawit dan hutan yang besar. Limbah sawit yang menjadi limbah industri prospektif untuk menjadi bahan bakar tungku biomasa dengan nilai kalori 23012 kJ/kg. Begitu juga dengan luas areal hutan 518 474 Ha berpotensi untuk bahan bakar biomasa kayu ^[1]. Disamping itu banyak masyarakat yang berada di daerah terisolir masih sulit untuk mendapatkan bahan bakar fosil dan gas LPG sehingga harus memasak dengan bahan bakar biomasa, asap yang dihasilkan dari pembakaran dapat berdampak terhadap kesehatan dan emisi gas metana yang lebih berbahaya 21 kali lipat dibandingkan CO_2 .

Kabupaten Bengkalis adalah daerah yang terkenal dengan produksinya

sehingga membutuhkan bahan bakar dan tungku yang hemat energi. Pada umumnya warga menggunakan kayu bakar untuk keperluan memasak. Karena kebutuhan kayu bakar yang besar, maka warga mencari kayu bakar dengan menebang pohon di sekitar mereka, atau mencari kayu ke hutan. Hal ini kontra produktif dengan program pemerintah yang ingin melestarikan lingkungan. Karenanya, penting dicarikan solusi agar masyarakat tetap dapat memenuhi kebutuhan energi mereka, tetapi tidak dengan cara menebang pohon di hutan. Hal ini mungkin, bila kebutuhan akan bahan bakar mereka dapat ditekan, sehingga masyarakat dapat memenuhi dari ranting-ranting atau dahan di kebun mereka sendiri.

Penggunaan bahan bakar biomasa pada dapur tradisional menimbulkan asap yang sangat banyak. Asap tersebut, bila terhirup dalam jumlah berlebih berpotensi

menimbulkan gangguan fungsi pernafasan. Publikasi PBB menunjukkan bahwa tiap tahun lebih dari 1 juta orang di dunia yang meninggal karena infeksi akut pernafasan yang disebabkan karena menghirup udara berasap di dapur. Sementara dari data

Kabupaten Bengkalis penyumbang CO₂ terbesar kedua setelah Rokan Hilir dengan titik api sebanyak 264 titik api^[1]. Dengan demikian penting sekali mendesain satu jenis tungku biomasa yang efisien dan ramah lingkungan.

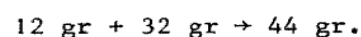
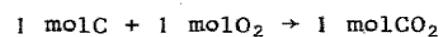
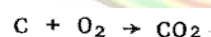
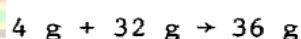
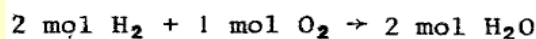
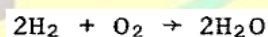


Gambar 1: Tipikal dapur tradisional yang ada di pedesaan di Indonesia.

Proses masak dengan bahan bakar kayu sangat efektif pada rumah makan yang ada di Kabupaten Bengkalis selain murah cita rasa masakan jauh lebih nikmat. Tungku biomasa tradisional yang akan diterapkan merupakan tungku berbahan bakar biomasa padat. Biomasa terbakar oleh proses *pirolisis* dan *gasifikasi* yang menghasilkan asap. Secara kimia, asap pembakaran tersusun atas gas-gas diantaranya adalah H₂, CO, CH₄, CO₂, SO_x, NO_x dan uap air. Sebagian gas-gas tersebut, yaitu hydrogen (H₂),

karbonmonoksida (CO), dan metana (CH₄) adalah gas-gas yang dapat terbakar, sehingga dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar. Dengan demikian, untuk meningkatkan efisiensi penggunaan biomasa sebagai bahan bakar, maka asap yang dihasilkan pada proses pengarangan harus dibakar lagi untuk kedua kali dan menghasilkan api yang mempunyai nyala yang lebih bersih. Reaksi-reaksi pembakaran dapat dinyatakan melalui persamaan kimia:

Reaktan → Produk
Bahan bakar + pengoksidasi → Produk



(Bryden, M., Still, D., Scott, P., Hoffa, G., Ogle, D., Bailis, R., and Goyer, K., 2005)

Rasio udara – bahan bakar merupakan dua parameter yang sering dipakai untuk memberikan kuantifikasi jumlah bahan bakar dan udara di dalam sebuah proses

pembakaran. Rasio udara – bahan bakar singkatnya adalah rasio jumlah udara di dalam sebuah reaksi terhadap jumlah bahan bakar. Rasio ini dapat dituliskan dengan

basis molar (mol udara dibagi dengan mol bahan bakar) atau dengan basis massa (massa udara dibagi dengan massa bahan bakar). Konversi di antara kedua nilai ini dilakukan dengan menggunakan berat molekuler dari udara, M_{udara} dan bahan bakar, $M_{bahan\ bakar}$

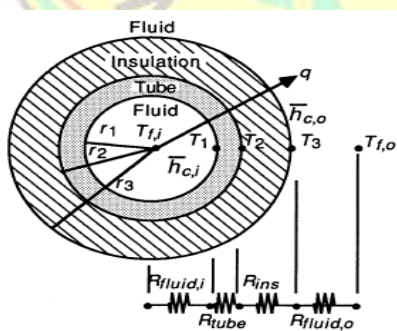
$$\frac{\text{massa udara}}{\text{massa bahan bakar}} = \frac{\text{mol udara} \times M_{udara}}{\text{mol bahan bakar} \times M_{bahan\ bakar}}$$

$$= \frac{\text{mol udara}}{\text{mol bahan bakar}} \left(\frac{M_{udara}}{M_{bahan\ bakar}} \right)$$

$$AF = \overline{AF} \left(\frac{M_{udara}}{M_{bahan\ bakar}} \right)$$

(Baldwin F., 2005)

Dimana \overline{AF} adalah rasio udara-bahan bakar dengan basis molar dan AF adalah rasio dengan basis massa. Rasio udara terhadap bahan bakar sangat dibutuhkan bertujuan untuk menentukan berapa luas atau lobang aliran udara yang masuk ke ruang pembakaran (*udara primer*) dan untuk membakar gas *volatil* (*udara sekunder*). Untuk menghitung laju perpindahan panas pada tungku dapat menggunakan persamaan berikut:



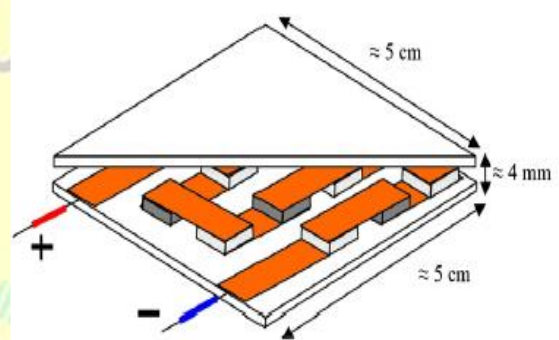
$$q_k = \frac{2\pi Lk}{\ln[r_2/r_1]} (T_1 - T_2) \quad R_k = \frac{\ln[r_2/r_1]}{2\pi Lk}$$

Mi

chael J. Moran dan Howard N. Shapiro
2004, (2005)

Selain itu untuk membantu proses pembakaran awal diperlukan udara konveksi paksa dengan kipas, dimana konsumsi listriknya berasal dari panas buang tungku yang lebih kita kenal *efek Seebeck*. Alat

untuk mengkonversi energi panas menjadi listrik adalah termoelektrik yaitu proses konversi langsung yang disebabkan oleh perbedaan temperatur menjadi tegangan listrik atau sebaliknya. Prinsip kerja dari termoelektrik adalah 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.



Gambar 1. Gambar Elemen Peltier

Agar dapat mengetahui tingkat performansi tungku perlu dihitung nilai efisiensi termal tungku.

$$\eta = \frac{m_w * C(T_b - T_i) + m_v * R}{m_f * B} * 100\%$$

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

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

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

Dimana:

Massa bahan bakar terpakai untuk pengujian

m_f (kg)

Nilai kalor bahan bakar C (kkal/kg)

Massa air awal m_w (kg)

Massa air terevaporasi m_v (kg)

Temperatur awal air T_1 (0C)

Temperatur air mendidih T_2 (0C).

Waktu awal penyalaan (menit)

Waktu awal air mendidih (menit)

Waktu akhir pembakaran (menit)

Berat bahan bakar (arang) sisa m_2 (kg)

(K.Krishna Prasad, 1981).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah Advantech DAQ 4718 sebagai konverter akuisisi data temperatur dengan sensor termokopel tipe K yang total panjangnya 20 m. Sebagai penampilan data digunakan laptop tipe *Asus*. Timbangan dengan digit dua angka dibelakang koma untuk mengukur masing-masing kayu bakar yang akan digunakan. *Bomb kalorimeter* digunakan untuk mengukur nilai kalori bahan bakar, sedangkan mengukur laju aliran udara ke dalam ruang pembakaran

digunakan hot wire – anemometer. Berikut adalah flow chart penelitian yang dilakukan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perancangan yang telah dilakukan didapat beberapa tabel yang akan menjadi acuan untuk membuat tungku yang hemat energi dan ramah lingkungan. Konstanta dan nilai entalpi bahan bakar diuji dengan *bomb calorimetry*. Laju aliran massa tungku dapat dihitung dengan berat bahan bakar terhadap lama waktu pembakaran, sehingga di dapat hasil tabel dibawah ini

Tabel 1. Keterangan nilai kalori, massa, dan waktu pembakaran

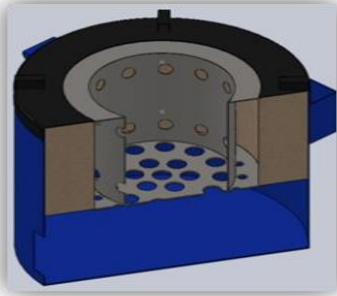
Deskripsi	Nilai Perhitungan	Keterangan
Nilai Kalori Kayu Cemara (Kj/Kg)	18.730	Dengan moisture content 15 %
Berat Kayu Bakar (Kg)	1	
Waktu Pembakaran (s)	3600	Diambil wktu terlama pd tungku tradisional masyarakat
Daya Tungku (kw)	11,24	
Laju Aliran Massa Tungku (g/sec)	1,1	
Laju Aliran Massa Arang(g/sec)	0,22	
Laju Aliran Massa gas Volatil (g/sec)	0,89	

Tabel 2. Tabel perhitungan laju perpindahan panas tungku pembakaran

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 ($^{\circ}\text{C}$)	850	
Temperatur luar tungku ($^{\circ}\text{C}$)	30	
Ketebalan isolator (m)	0,04	
Konduktivitas termal batu api ($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$)	1,37	
Konveksi udara dalam tungku ($\text{W/m}^2\ ^{\circ}\text{C}$)	25	
Konveksi udara annulus tungku ($\text{W/m}^2\ ^{\circ}\text{C}$)	15	
Konveksi udara luar tungku ($\text{W/m}^2\ ^{\circ}\text{C}$)	20	
Tinggi tungku (m)	0,4	
Laju perpindahan kalor (w)	5,831	

Berdasarkan data dan analisis pembakaran dan perpindahan panas maka didapat bentuk

tungku seperti gambar dibawah ini:



Gambar 3: Potongan tungku tampak samping

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 berbau langsung dengan asap sehingga

masuk ke ruang pembakaran langsung. Asap dapat bersirkulasi dari bawah keatas atau keluar dari lobang sekelilingnya. Pada tabung bagian dalam terdapat tekanan dan temperatur yang tinggi dimana temperatur bisa mencapai 800 °C, sehingga asap hasil pembakaran akan bergerak diruang annulus tungku yang diakibatkan oleh dorongan *thermoelectric fan*. 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. berikut adalah gambar tungku.



a. b.

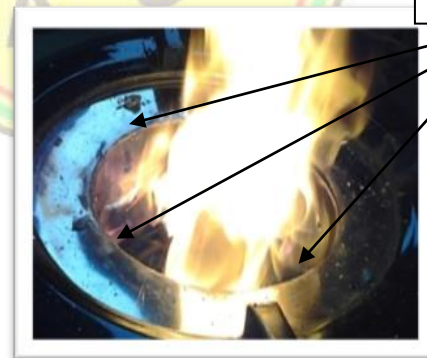
Gambar 4: a. Profil tungku tampak atas dengan penutup ruang annulus, b. Profil tungku dari atas tanpa tutup ruang annulus

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.



5



Lobang gasifikasi

6

Gambar 5. Tungku hemat energi dan tabung udara primer dan sekunder
Gambar 6: Profil lobang gasifikasi pada pembakaran

Gambar diatas 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 jempukan lidah api dari pembakaran kayu.



Gambar 7: Profil lobang gasifikasi pada pembakaran dengan warna api biru



Gambar 8: Profil pembakaran tanpa tutup ruang annulus

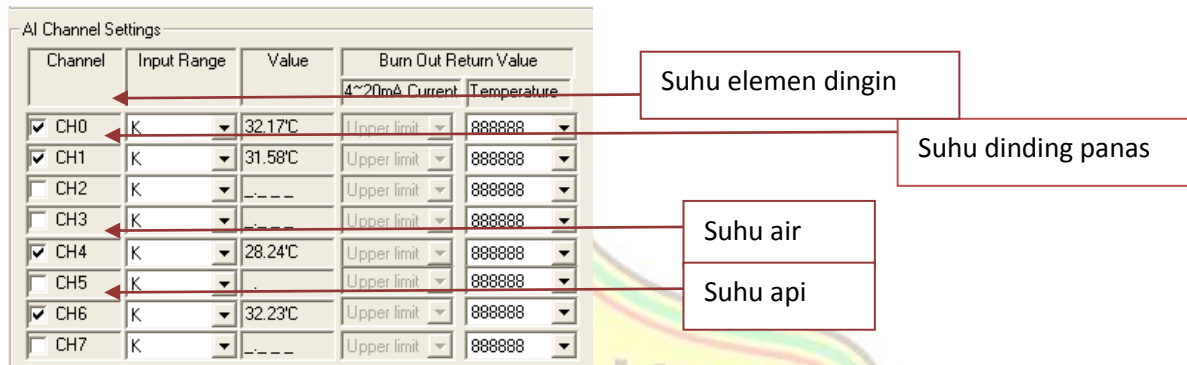
Dengan proses gasifikasi api hasil pembakaran akan menjadi biru sehingga akan memberi panas yang besar dibandingkan api yang berwarna kuning, proses gasifikasi akan tampak lebih jelas setelah bahan bakar biomasa sebagian menjadi arang dan berada pada temperatur *pyrolysis* yaitu $400\text{ }^{\circ}\text{C} - 600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hal ini berbeda jika pembakaran tanpa *gasifikasi* seperti terlihat pada gambar dibawah ini:

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 dibandingkan dengan udara lingkungan sehinggann mengakibatkan proses aliran alamiah. Dengan bantuan kipas *termoelektrik* sebagai suplai oksigen maka komposisi gas tersebut dibakar sehingga

akan menambah nilai panas pada pembakaran. Pada tungku gasifikasi ini bersifat *difusi* karena tidak adanya konveksi

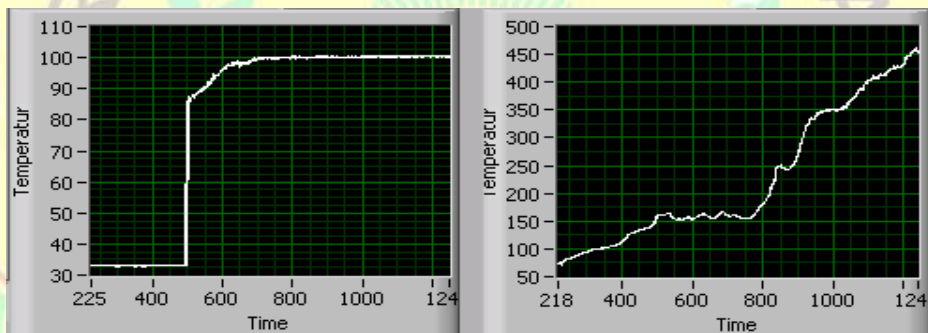
paksa dari kipas, sedangkan fungsi kipas hanya dijalankan pada awal pembakaran.



Gambar 9: Profil tampilan advantech sebelum dilakukan penelitian

Tampak pada gambar diatas temperatur air 28 °C dan temperatur udara lingkungan 31 °C, sedangkan chanel 6 temperatur titik api pembakaran, chanel 0 temperatur elemen

dingin, dan chanel 1 temperatur elemen panas semuanya adalah data awal temperatur sebelum dilakukan pengujian.



Gambar 10: Profil tampilan temperatur di LABVIEW

Dari alat ukur diatas pada Chanel 4 adalah termokopel mengukur titik didih air, terlihat air mendidih pada menit ke-10

sedangkan temperatur titik tengah api 175 °C. Pada penelitian didapat efisiensi termal sebagaimana terlihat pada tabel.

Tabel 3. Tabel Efisiensi Termal

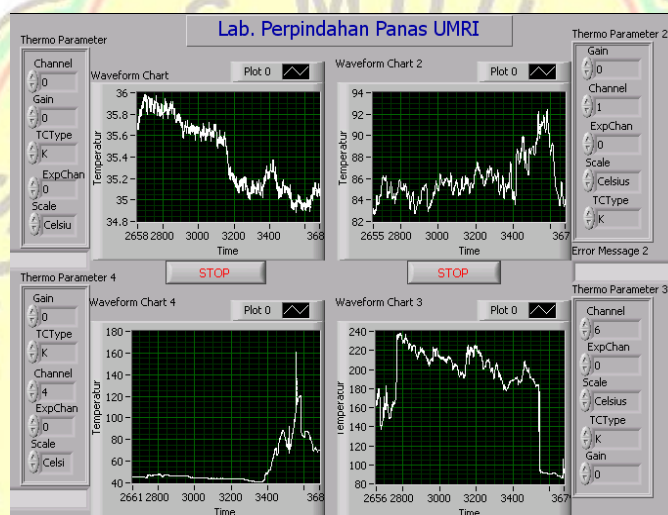
No	Parameter	Tungku Modifikasi
1	Massa bahan bakar terpakai pengujian m_1 (kg)	1
2	Nilai kalor bahan bakar C (kkal/kg)	17,7
3	Massa air awal m_w (kg)	1
4	Berat air sisa m_v (kg)	0,3
5	Temperatur awal air T_1 (°C)	28
6	Temperatur air mendidih T_2 (°C)	99
7	Waktu awal penyalaan (menit)	0,083
8	Waktu awal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

Pada proses perancangan alat konversi panas menjadi listrik menggunakan elemen

dispenser karena TEG harus diimpor, jenis TEC yang digunakan adalah tipe 12706

disamping elemen ini mudah didapat dan juga harganya murah, akan tetapi elemen rusak bila sisi panasnya mencapai diatas 200 °C, oleh sebab itu perlu dirancang tempat yang tidak melebihi temperatur tersebut, yaitu dinding tungku. Untuk memastikan akan adanya aliran listrik yang disebabkan perbedaan temperatur maka perlu dipasang kipas kecil. Kipas berputar setelah temperatur dinding tungku mencapai temperatur 100 °C dengan sisi dingin 32 °C dimana kondisi tersebut tegangan $\pm 1,23$ V

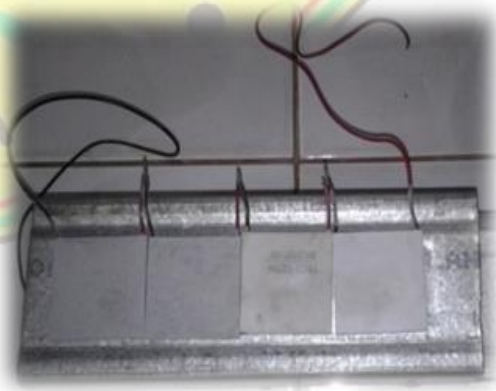
dan arus ± 60 mA. Kondisi tersebut tercapai pada menit ke-30. Setelah menit tersebut terjadi peningkatan temperatur sampai temperatur maksimum dinding yaitu 160 °C. Pada pengujian berikutnya suhu sisi panas 83 °C dan sisi dingin 38 °C yang mempunyai selisih 45 °C didapat hasil tegangan 0,5 V dan arus 0,44 mA data tersebut adalah nilai minimum untuk menggerakkan dinamo kipas dengan susunan rangkaian 4 buah elemen peltier secara paralel pada menit ke 45.



Gambar 11: Profil tampilan 4 buah chanel di LABVIEW

Pada menit ke – 61 Temperatur sisi dingin 34,97 °C sedangkan sisi panas 90, 12 °C, dengan nilai tegangan dan arus adalah $V = 1,03$ V dan arus $I = 45$ mA pada kondisi ini kipas berputar. Untuk meletakkan elemen peltier perlu didisain kedudukan 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 terma 247 W/m² °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

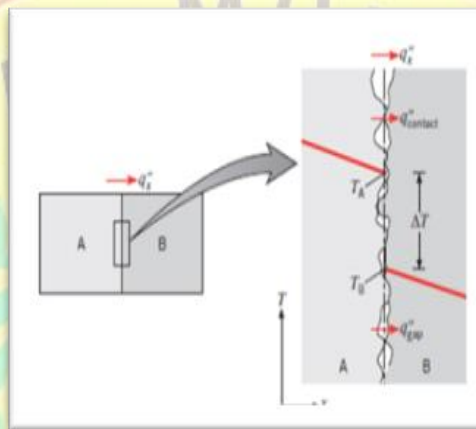


Gambar 12: Susunan seri elemen peltier

Pasta termal dioleskan pada keseluruhan permukaan peltier dengan tujuan membantu kesempurnaan pelepasan kalor. Pengolesan

ini dilakukan diseluruh permukaan sisi panas dan sisi dingin peltier. Hal ini perlu dilakukan karena permukaan baik alumunium maupun peltier tidak sepenuhnya rata. Bila terdapat rongga antara permukaan yang bersentuhan seperti permukaan sisi panas atau dingin dengan alumunium 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. Untuk performa yang maksimum dapat digunakan pasta termal dengan tambahan AlN dan BN yang akan mengurangi hambatan thermal. [tipe pasta IDL 280 konduktivitas termal > 1,22 W/m⁰ K, resistansi termal < 0,201 °C].



Gambar 13: rongga dua plat ketika dilihat secara mikroskopik

Pada perancangan ini peneliti telah melakukan tiga kali perancangan. Rancangan pertama untuk mendapatkan sisi panas termoelektrik hanya mengandalkan panas konveksi dari bawah tungku, hal ini sangat tidak efisien dikarenakan selama proses pembakaran temperatur maksimum yang dicapai hanya 35 °C. Tidak terjadinya peningkatan temperatur dikarenakan pergerakan udara dari kipas yang disuplai ke ruang pembakaran. Rancangan kedua Perlu penambahan batang tembaga yang menempel dibawah pemanggang agar transfer panas ke sisi elemen peltier lebih cepat dan bagus dibandingkan hanya

memanfaatkan perpindahan panas konveksi, yang hanya berkisar di temperatur 32 ° C. Terjadi kenaikan temperatur, tetapi tidak mencapai temperatur yang diinginkan untuk dapat mensuplai tegangan yang membuat kipas berputar. Perancangan yang ketiga yaitu dengan menempelkan ke-empat elemen peltier disisi samping tungku dimana temperatur pada sisi tersebut dapat mencapai temperatur maksimum 160 °C pada menit ke-60 untuk bahan bakar kayu seberat 1 kg. Untuk tetap menjaga temperatur sisi dingin elemen maka perlu disirkulasikan air yang bertemperatur 29 °C. Hal ini sangat efektif untuk menjaga temperatur tidak naik.

Tabel 4. Data laju perpindahan panas pada sisi dingin

Deskripsi	Nilai Perhitungan	Keterangan
Diameter hidrolik (m)	0,075	
Bilangan Reynold	4,34	Bilangan tak-berdimensi

Deskripsi	Nilai Perhitungan	Keterangan
Bilangan Nusselt	4,001	Bilangan tak-berdimensi
Temperatur keluar air ($^{\circ}\text{C}$)	31,609	
Koefisien konveksi ($\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$)	32,775	
Laju Perp. Panas sisi dingin		6,181

Artinya rugi kalor yang terjadi disisi elemen pendingin 6,181 W. Sistem pembakaran secara *diffused* (baur) merupakan sistem pembakaran dimana api muncul dari bintik-bintik kecil sepanjang tabung bakar, 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. Air flow regulation merupakan sistem yang mengatur laju aliran udara, baik untuk gasifikasi (*primary air*) maupun untuk pembakaran asap (*secondary air*), agar api yang dihasilkan bagus. Pada tungku biomasa dengan bahan bakar cangkang, hal ini ditunjukkan dengan dua panel pengatur aliran udara di bagian bawah dan bagian atas

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan perancangan, pembuatan dan pengujian terhadap tungku biomasa gasifikasi dengan termoelektrik sebagai pembangkit listrik. Pada tungku terdapat tabung bagian dalam dengan diameter 15 cm dan tinggi tungku 25 cm. Tungku dapat menghasilkan listrik dengan pemanfaatan panas buang pada temperatur sisi panas $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan temperatur sisi dingin $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ dimana tegangan termoelektrik $\pm 1,2\text{ V}$ dan arus $\pm 60\text{ mA}$. Tungku dapat membakar ulang hasil pembakaran melalui lobang-lobang di sekeliling tabung dalam sehingga terjadi

gasifikasi. Efisiensi termal tungku adalah 10,7 % yaitu dapat mendidihkan 1 kg air pada menit ke-10 dengan berat bahan bakar kayu 1 kg.

Saran

Pada perancangan, pembuatan dan pengujian tungku modifikasi masih diperlukan optimasi disain disamping menggunakan software simulasi *computational fluid dynamic* fluent perlu juga melakukan pengujian beberapa kali dengan jumlah udara primer dan sekunder yang berbeda. Perlu mengatur dan mengarahkan aliran udara hasil pembakaran yang tentunya re-design bentuk tabung dari bawah dan bersirkulasi disekeliling tabung sehingga dapat dibakar kembali. Penambahan jumlah elemen peltier dapat membangkitkan daya yang lebih besar lagi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- M. Nurhuda Dr.Rer.nat. “*tungku biomasa UB mendukung terwujudnya target penurunan emisi 26 % dan kemandirian energi*” Universitas Brawijaya Malang 2009.
- Abrar. R. “*Rancang Bangun Tungku Biomasa Hemat Energi dan Ramah Lingkungan berbahan Bakar kayu*” Universitas Muhammadiyah Riau 2011
- Michael J. Moran dan Howard N. Shapiro 2004, (2005), “*Termodinamika Teknik Jilid 2*”, Jakarta: Erlangga, 2004.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Riau “*Riau dalam angka 2010*” Badan Pusat Statistik 2010

- 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.
- K.Krihsna Prasad, “Some studies on open fires, shielded fires and heavy stoves” A report from the woodburning stove group departments of applied physics and mechanical engineering Eindhoven university technology, 1981
- Baldwin F., 2005 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
- Intergovernmental Panel on Climate Change, “ 2006 IPCC Guidelines for National greenhouse Inventories”, Vol 2, 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>
- Biomasa Energi Data Book, http://cta.ornl.gov/bedb/appendix_b.shtml.