

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Beberapa hasil penelitian berkaitan dengan kompor masak gasifikasi telah banyak dilakukan. Penelitian tersebut antara lain penelitian kompor masak gasifikasi menggunakan bahan bakar sekam padi, penggunaan kompor masak gasifikasi, parameter-parameter aliran udara natural dan aliran udara paksa primer pada kompor masak gasifikasi. Sebuah ulasan mengenai aspek keteknikan pada kompor masak gasifikasi juga dipaparkan di bagian ini.

Kailasnath B. Sutar (2015), memberikan ulasan mengenai aspek keteknikan pada kompor masak biomassa. Meningkatkan teknologi di bidang termal serta emisi kinerja kompor biomassa telah menarik bagi para peneliti sejak waktu yang lama. Meskipun telah ada literatur yang luas mengenai subjek, beberapa masalah teknis yang masih belum terpecahkan dengan berbagai data dan opini yang disajikan. Artikel ini bertujuan untuk menyatukan literatur yang menjangkau lebih dari tiga dekade yang membahas aspek teknik dari kompor biomassa, yaitu mengenai desain, analisis, dan percobaan yang dilakukan. Literatur tentang berbagai prinsip desain, fitur yang menentukan kinerja kompor dan metode yang berbeda dari prediksi kinerja telah ditinjau. Protokol pengujian kompor masak yang berbeda telah dibandingkan dan berbagai

isu terkait dengan kompor pengujian dibahas secara kritis. Hasil penelitian di laboratorium dan studi lapangan mengenai kompor masak oleh berbagai peneliti disajikan. Literatur mengenai dampak kesehatan dari kompor masak, diseminasi dan adopsi juga telah disertakan. Fokus dalam jurnal ini pada analisis temuan yang telah dihasilkan oleh berbagai peneliti selama 3 sampai dengan 4 dekade terakhir dengan latar belakang untuk kemajuan pengetahuan di suatu daerah. Dimanapun temuan bertentangan ditemui, upaya telah dilakukan untuk mencocokkan yang sama mengenai pemahaman fenomena dasar.

C. Lertsatitthanakorn (2014), melakukan sebuah studi mengenai penggabungan gasifier sekam padi dengan generator termoelektrik. Penggunaan sekam gasifier padi sebagai kompor masak terbatas pada sektor domestik dari negara-negara berkembang terutama karena kebutuhan energi listrik untuk menggerakkan blower untuk proses gasifikasi. Untuk mengatasi masalah ini, kami menyelidiki kelayakan melampirkan thermoelectric komersial (TE) modul terbuat dari bahan bismuth-telluride ke dinding samping gasifier ini, sehingga menciptakan sistem generator TE yang memanfaatkan proporsi limbah panas gasifier ini. Sebuah sekam padi gasifier TE Generator (TE-RSG) yang memiliki diameter 16 cm itu dibuat dan diuji. TE sistem generator terdiri dari dua modul TE komersial, dinding lembaran logam yang bertindak sebagai salah satu sisi struktur gasifier dan menjabat sebagai sisi panas dari modul TE dan heat sink sirip persegi panjang di sisi dingin modul TE.

Sebuah blower digunakan untuk menghisap udara ambien untuk mendinginkan heat sink dan meniup udara dari heat sink ke reaktor gasifier. Gasifikasi terbentuk pada suhu 500-700°C , tingkat pemberian udara 18,6 m³/h. Hasil penelitian menunjukkan bahwa output daya listrik dan efisiensi konversi tergantung pada perbedaan suhu antara sisi dingin dan panas dari modul TE. Pada perbedaan suhu sekitar 60°C, unit mencapai output daya 3,9 W dan efisiensi konversi dari 2,01%. Melalui perbandingan hasil antara model teoritis dan sistem eksperimental, kewajaran model sistem ini telah diverifikasi.

Eko Surjadi (2012), melakukan sebuah penelitian mengenai performa tungku gasifikasi biomassa tipe *top lit up-draft* pada berbagai kombinasi ukuran biomassa dan kecepatan udara primer awal. Penelitian tersebut bertujuan untuk mendapatkan kecepatan udara primer awal yang menghasilkan *output power* yang sebesar mungkin pada tungku gasifikasi biomassa Tipe *Top Lit Up-Draft*. Eksperimen diuji dengan metode *water boiling test* dilakukan menggunakan sekam padi sebagai umpan dengan variasi ukuran (2-4 mm, 5-7 mm, 10-11 mm, 25mm dan 40 mm) dan kecepatan udara primer awal antara 2,4-3,8 m/s pada tungku gasifikasi biomassa tipe *Top Lit Up-Draft*. Diperoleh data *start up time*, *operating time* dan *total operating time* dari penggunaan tungku gasifikasi biomassa tipe *top lit up-draft* dengan biomassa umpan 600 gram dan air 1 liter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Biomassa sekam padi dengan ukuran di bawah ukuran sekam padi (10-11 mm) tidak terjadi pembakaran

sempurna maupun pembakaran tidak sempurna pada umpan dengan kecepatan udara primer awal tungku sampai 3,8 m/s (kecepatan udara maksimal tungku gasifikasi biomassa tipe *Top Lit Up-Draft*) artinya celah antar biomassa sangat kecil sehingga hambatan yang terjadi sangat besar tetapi dengan ukuran jauh lebih sedikit dari 10 % diameter tungku (ukuran standar biomassa sekam padi) mampu menghasilkan gas CH₄ (metana) dan dapat digunakan untuk mendidihkan air (100°C) pada kecepatan udara 3,0 m/s keatas dan semakin tinggi kecepatan udara primer awal maka, daya keluaran (*Output Power*) naik sampai kecepatan udara primer mula 3,8 m/s yaitu 1,3302 kWatt sedangkan *stove efficiency* tungku gasifikasi ini meningkat seiring dengan meningkatnya Kecepatan udara primer awal.

Thomas Kirch (2016), melakukan sebuah penelitian pada sebuah kompor *top-lit up-draft* mengenai parameter-parameter pembakaran dari aliran udara natural dan aliran udara paksa primer. Di seluruh dunia, lebih dari empat juta orang meninggal setiap tahun akibat emisi dari tungku. Untuk mengatasi masalah ini, kompor masak yang lebih maju sedang dikembangkan, dengan satu sistem, disebut *top-lit up-draft* (TLUD) kompor masak gasifikasi, menunjukkan potensi khususnya dalam mengurangi produksi emisi berbahaya. Sebuah penelitian analogi pengapian baru dari kompor masak gasifikasi TLUD telah dirancang untuk mempelajari proses pembakaran TLUD. Suatu prosedur pembuatan kompor masak gasifikasi dilaksanakan dalam kondisi aliran udara natural

dan udara primer paksa. Sebuah penilaian visual dilakukan dan profil suhu dan emisi dicatat untuk mengidentifikasi fase pembakaran. Efisiensi dievaluasi melalui nominal pembakaran efisiensi ($NCE = CO_2 / (CO_2 + CO)$), yang bermigrasi sangat tinggi dalam tahap pirolisis, rata-rata 0,9965 untuk kasus aliran udara natural. Aliran udara paksa primer menghasilkan efisiensi yang sejenis. Pada tahap fase pencahayaan dan arang gasifikasi yang NCE turun pada 0,8404 dan 0,6572 masing-masing dalam kasus aliran udara natural. Saat memberikan aliran udara paksa primer aliran-aliran, nilai NCE lebih tinggi dicapai dengan udara yang lebih tinggi aliran-aliran dalam tahap pencahayaan, sementara dengan aliran udara yang lebih rendah mengalir pada fase gasifikasi *pyrolysis*. Dalam kasus aliran udara utama emisi H_2 yang tinggi juga ditemukan dalam pencahayaan dan fase gasifikasi *pyrolysis*, yang terakhir menunjukkan pirolisis tidak lengkap. Dari perbandingan konfigurasi aliran udara natural dengan aliran udara paksa, jelas bahwa tinggi efisiensi dan emisi rendah dari pembakaran tidak sempurna hanya dapat dicapai dengan pengendalian tinggi dari aliran udara di fase yang berbeda dari pembakaran.

Wijianto (2016), melakukan sebuah penelitian mengenai variasi kecepatan aliran udara pada tungku gasifikasi limbah biomasa terhadap nyala efektif dan temperatur pembakaran. Proses gasifikasi dilakukan dengan membatasi oksigen (O_2) yang masuk ke *gasifier*. Pada umumnya, proses gasifikasi menghasilkan gas-gas seperti CH_4 , H_2 dan CO demikian pula senyawa lain seperti H_2S , CO_2 , dan Tar. Studi ini bertujuan untuk

memperoleh temperatur pembakaran dan waktu nyala efektif terbaik dengan variasi kecepatan aliran udara pada *gasifier* dan variasi biomasa. Penelitian ini berdasarkan *updraft gasifier*. Gas yang diproduksi dengan proses gasifikasi mengalir ke *burner*, dimana arah aliran gas sama dengan aliran udara dari blower. Variasi aliran udara yang dihasilkan dari *blower* udara digunakan untuk menyuplai oksigen ke dalam reaktor. Limbah biomasa seperti potongan bambu, jerami, potongan kayu, dan sekam padi digunakan sebagai bahan baku untuk proses gasifikasi. Semua limbah biomasa dihancurkan untuk memperoleh ukuran yang seragam menggunakan 20 mesh. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kecepatan aliran udara terbaik 10 m/s dan bahan baku terbaik sebagai sumber panas dari proses gasifikasi adalah sekam padi. Gasifikasi ini menghasilkan waktu nyala efektif selama 33 menit dan rata-rata temperatur adalah 600°C.

Fokus penelitian-penelitian tersebut adalah proses gasifikasi pada kompor dengan menggunakan bahan bakar sekam padi, sementara pada penelitian ini menguji pengaruh variasi kecepatan aliran udara primer dan penambahan udara pada reaktor kompor gasifikasi metode TLUD dengan perbedaan diameter silinder dalam reaktor. Kebaharuan dari penelitian ini adalah sama-sama menguji pengaruh variasi kecepatan udara, selain itu penelitian ini juga terdapat variabel pembeda yaitu penambahan udara 2.5 m/s dan perbedaan diameter silinder dalam dinding reaktor.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Energi Biomasa

Biomasa adalah sumber energi terbarukan tidak hanya karena energi di dalamnya berasal dari matahari (proses fotosintesis), tetapi juga karena biomasa dapat kembali tumbuh selama periode yang relatif singkat dibandingkan dengan ratusan juta tahun yang dibutuhkan untuk membentuk bahan bakar fosil. Melalui proses fotosintesis, klorofil pada tanaman menangkap energi matahari dengan mengkonversi karbon dioksida dari udara dan air dari tanah menjadi senyawa karbohidrat kompleks yang terdiri dari karbon, hidrogen, dan oksigen. Ketika karbohidrat ini terbakar, senyawa tersebut kembali menjadi karbon dioksida dan air dan melepaskan energi yang ditangkap dari matahari.

Sumber-sumber biomasa yang paling umum adalah bahan bakar kayu, limbah pertanian dan sampah. Ada empat jenis proses yang digunakan untuk mengkonversi biomasa menjadi bentuk energi yang berguna yaitu: konversi termal dari biomasa, konversi kimia dari biomasa, konversi biokimia dari biomasa, dan konversi termokimia dari biomasa. Salah satu metode proses konversi termokimia dari biomasa adalah gasifikasi.

Potensi biomassa di Indonesia cukup tinggi. Adanya hutan di Indonesia yang sangat luas menyebabkan pada setiap tahunnya diperkirakan terdapat jutaan ton limbah kayu yang terbuang dan belum dimanfaatkan. Begitu pula dengan sekam padi, tongkol jagung, dan

tempurung kelapa yang merupakan limbah pertanian dan perkebunan.

Potensi biomassa di Indonesia tampak pada tabel berikut.

Efective Residues		Planted Area ^{***} (Ha)	Potency Energy MJ/Ha/Year *)	Technical Energy Potential mill GJ/year
Palm Oil	Fruit empty bunches	8,430,026	32,800 ^{****})	138.3
	Palm shell		6,500	54.8
Coconut	Shell	3,808,263	9,600	17.5
	Fibre		12,700	23.2
Ruber	Small log	3,445,121		36.3 **)
Sugar	Bagasse	448,745	288,800	129.8
Rice	Husk	12,147,637	11,800	143.3
Corn	Cob	4,131,676	17,300	71.5
Technical Energy Potential of Solid Agr. Biomass				614.6

Tabel 2.1. Teknis Energi Potensial dari Pertanian Efektif Biomassa Padat

Sumber: *Biomass Resource in Indonesia: Indonesia's Solid Biomass Energy Potential* (Bambang Prastowo, 2011)

2.2.2. Gasifikasi

Gasifikasi adalah penggunaan suhu tinggi dan lingkungan yang terkendali yang mengarah ke hampir semua biomassa yang dikonversi menjadi gas. C. Lertsatitthanakorn (2014:159) menyebutkan "gasifikasi terbentuk pada suhu 500-700°C pada tingkat pemberian udara 18,6 m³/h". Gasifikasi berlangsung dalam dua tahap: pembakaran parsial untuk membentuk bahan bakar gas dan arang, diikuti dengan reduksi kimia.

Tahap-tahap ini berada pada area yang terpisah di dalam *gasifier*, dengan desain *gasifier* sangat tergantung pada karakteristik bahan baku. Teknologi gasifikasi telah ada sejak pergantian abad ketika batubara tergasifikasi secara luas di Inggris dan di tempat lain untuk digunakan dalam pembangkit listrik dan di rumah-rumah untuk memasak dan penerangan. Tugas utama di masa depan adalah pertimbangan untuk produksi listrik dari perkebunan biomassa dan residu pertanian menggunakan *gasifier* skala besar dengan sambungan langsung ke turbin gas.

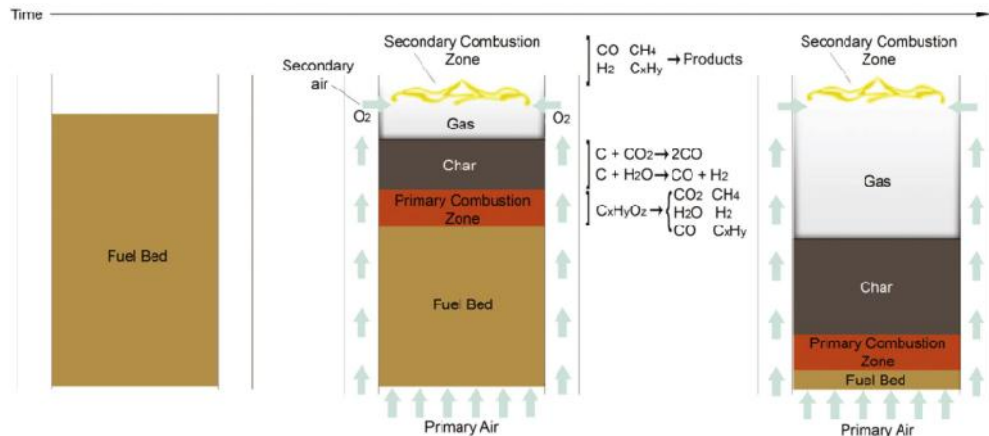
2.2.3. Metode *Top-Lit Up Draft*

Metode TLUD merupakan salah satu metode proses gasifikasi. Metode *Top-Lit Up Draft* (TLUD) telah dikenal sejak tahun 1985 yang ditemukan oleh Dr. Thomas B. Reed. Belonio (2005:13) menyebutkan dalam metode TLUD setumpuk bahan bakar dibakar di dalam reaktor. Bahan bakar dinyalakan dari puncak reaktor dengan bahan penyalaan awal. Zona pembakaran bergerak ke bawah reaktor dengan kecepatan bergantung pada jumlah udara yang disuplai ke atas reaktor oleh blower/kipas. Semakin banyak udara yang disuplai maka semakin cepat pergerakan kebawah dari bahan bakar yang terbakar. Bahan bakar yang telah terbakar berada di dalam reaktor dalam bentuk arang atau karbon. Arang atau karbon ini bereaksi dengan udara yang disuplai oleh blower sehingga menghasilkan gas yang dapat terbakar.

2.2.4. Proses Termokimia pada TLUD

Paul S. Anderson (2010:2) menyebutkan metode TLUD melibatkan tiga reaksi kimia utama yaitu, pembakaran gas, pirolisis, dan oksidasi karbon. Reaksi yang paling terlihat adalah pembakaran (penuh atau tidak lengkap) dari gas mudah terbakar yang diciptakan oleh dua reaksi lainnya. Reaksi pembakaran membutuhkan udara sekunder yang menyalurkan oksigen sehingga api dapat terlihat. Reaksi lain yang dapat terlihat adalah transformasi kimia yang dikarenakan oleh energi panas (pirolisis), menghasilkan gas yang dapat terbakar dan penciptaan arang. Reaksi terakhir yang masih dapat terlihat adalah oksidasi dari karbon untuk menghasilkan karbon monoksida, yang mudah terbakar jika terus terkonsentrasi dan panas. Abu adalah residu yang sudah tidak dapat terbakar setelah oksidasi karbon.

Ketiga proses tersebut terjadi hampir bersamaan pada pembakaran biasa, membuat mereka sulit untuk dikontrol secara individual. Pemasokan udara primer dan sekunder secara bersamaan adalah alasan utama mengapa membakar kayu dan biomassa lainnya di / tungku tradisional khas tidak lengkap, menimbulkan asap dan masalah kesehatan yang serius. Ketika gas yang dihasilkan tidak terbakar dengan segera, proses gasifikasi yang lebih mudah dipahami, dilihat, dan dikendalikan adalah proses pirolisis dan oksidasi karbon.



Gambar 2.1. Skema Gasifikasi Metode *Top-Lit Up Draft* (TLUD)

Sumber: *The effects of fuel type and stove design on emissions and efficiency of natural-draft semi-gasifier biomass cookstoves* (J.

Tryner et al, 2014:100)

2.2.5. Pirolisis

Pirolisis adalah pemanasan bahan organik, seperti biomassa, dengan kurangnya jumlah oksigen. Karena kurangnya oksigen maka materi/bahan bakar tidak terbakar tetapi senyawa kimia (seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin) yang membentuk materi terurai secara termal menjadi gas yang mudah terbakar dan arang. Sebagian besar gas yang mudah terbakar dapat diringkas menjadi cairan yang mudah terbakar, disebut minyak pirolisis (bio-oil), meskipun ada beberapa gas permanen (CO_2 , CO , H_2 , hidrokarbon ringan). Jadi pirolisis biomassa menghasilkan tiga produk: satu berbentuk cair, bio-oil, satu berbentuk padat, bio-char dan satu berbentuk gas (syngas). Proporsi produk ini tergantung pada beberapa faktor termasuk komposisi bahan baku dan proses parameter.

Namun, segala sesuatunya sama, penghasilan produk pirolisis optimal ketika suhu pirolisis adalah sekitar 500°C. Dalam kondisi ini hasil bio-oil dari 60-70% berat dapat dicapai dari bahan baku biomassa yang khas, dengan 15-25% berat hasil dari bio-char. Sisanya 10-15% berat adalah syngas. Proses yang menggunakan tingkat pemanasan lambat disebut pirolisis lambat dan bio-char biasanya produk utama proses tersebut. Proses pirolisis dapat berkelanjutan secara mandiri, seperti pembakaran dari syngas dan sebagian dari bio-oil atau bio-char dapat menyediakan semua energi yang diperlukan untuk mendorong reaksi.

2.2.6. Sekam Padi

Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi kariopsis, terdiri dari belahan lemma dan palea yang saling bertautan, umumnya ditemukan di areal penggilingan padi. Dari proses penggilingan padi, biasanya diperoleh sekam 20 – 30%, dedak 8 – 12 %, dan beras giling 50 – 63,5% dari bobot awal gabah.

Sekam padi sering diartikan sebagai bahan buangan atau limbah penggilingan padi, keberadaannya cenderung meningkat yang mengalami proses penghancuran secara alami dan lambat, sehingga dapat mengganggu lingkungan juga kesehatan manusia.

Sekam memiliki kerapatan jenis bulk density 125 kg/m³ , dengan nilai kalori 1 kg sekam padi sebesar 3300 k.kalori dan ditinjau dari komposisi kimiawi, sekam mengandung karbon (zat arang) 1,33%, hydrogen 1,54%, oksigen 33,645, dan Silika (SiO₂) 16,98%, artinya

sekam dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku industri kimia dan sebagai sumber energi panas untuk keperluan manusia.

2.2.7. Kalor Sensibel, Kalor Laten dan Efisiensi Termal

2.2.7.1. Kalor Sensibel

Belonio (2005:85) menyebutkan kalor sensibel adalah energi panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur air. Kalor sensibel dihitung saat sebelum dan sesudah air mencapai temperatur mendidih. Rumus untuk menghitung kalor sensibel adalah:

$$SH = M_w \times C_p \times (T_f - T_i)$$

keterangan:

SH = *Sensible Heat* (Kalor Sensibel), Kcal;

M_w = *Mass of Water* (Massa Air), Kg (1Kg/Liter);

C_p = *Specific Heat of Water* (Kalor Spesifik Air), 1 Kcal/Kg.°C;

T_f = *Temperature of Water at Boiling* (Temperatur Air saat Mendidih);

T_i = *Temperature of Water Before Boiling* (Temperatur Air Sebelum Mendidih), 27-30°C.

2.2.7.2. Kalor Laten

Giancoli (1998:497) menyebutkan ketika suatu materi berubah fase dari padat ke cair, atau dari cair ke gas, sejumlah energi tertentu terlibat pada perubahan fase tersebut. Energi ini disebut energi laten atau kalor laten.

Belonio (2005:85-86) menyebutkan kalor laten adalah sejumlah energi panas yang digunakan dalam menguapkan air. Rumus untuk menghitung kalor sensibel adalah:

$$LH = We \times Hfg$$

keterangan:

LH = *Latent Heat* (Kalor Laten), Kcal;

We = *Weight of Water Evaporated* (Massa Air Menguap), Kg;

Hfg = *Latent Heat of Water* (Kalor Laten Air pada 100°C dan 10⁵ Pa), 540 Kcal/Kg.

2.2.7.3. Efisiensi Termal

Belonio (2005:85-86) menyebutkan efisiensi termal adalah perbandingan dari energi yang terpakai dalam mendidihkan dan menguapkan air dengan energi kalor tersedia di dalam bahan bakar. Rumus untuk menghitung kalor sensibel adalah:

$$TE = \frac{SH + LH}{HF \times WF} \times 100\%$$

keterangan:

TE = *Thermal Efficiency* (Efisiensi Termal), %;

SH = *Sensible Heat* (Kalor Sensibel), Kcal;

LH = *Latent Heat* (Kalor Laten), Kcal;

HF = *Heating Value of Fuel* (Nilai Kalor Bahan Bakar), Kcal/Kg;

WF = *Weight of Fuel Used* (Massa Kalor Digunakan), Kg.