Analisis *Water Boiling Test* Untuk Tungku Gasifikasi Jenis *Updraft* Berbahan Semen

1st Riska Ayu Utami
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
riskaayuutami@student.telkomuniversity.ac.id

2nd M Ramdlan Kirom
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
mramdlankirom@telkomuniversity.ac.id

3rd Tri Ayodha A
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
triayodha@telkomuniversity.ac.id

***Abstrak* — Dalam proses konversi biomassa menjadi sumber bahan bakar diperlukan teknologi gasifikasi. Untuk itu pada *capstone design* ini, dilakukan sebuah perancangan tungku gasifikasi jenis *updraft* bebahan semen yang digunakan untuk proses konversi biomassa tersebut. Tujuan dari *capstone design* ini selain untuk konversi pellet kayu menjadi energi biomassa, juga untuk menguji kualitas dari tungku gasifikasi yang dirancang dalam hal menghasilkan panas untuk proses memasak atau pendidihan air serta membandingkan tungku gasifikasi jenis *updraft* yang dirancang dengan tungku gasifikasi jenis *updraft* yang telah beredar dipasaran. Pengujian tungku gasifikasi yang dirancang menggunakan metode *water boiling test*. Pengujian dilakukan 3 skema yaitu skema 1 menggunakan tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen yang dirancang dengan menggunakan *blower*, skema 2 menggunakan tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen yang dirancang tanpa menggunakan *blower*, dan skema 3 menggunakan tungku gasifikasi *updraft* yang telah beredar di pasaran. Pengujian dilakukan dengan variasi jumlah bahan bakar di masing-masing skema pengujian dan jumlah air yang digunakan pada setiap skema yaitu sebesar 2kg. Pada skema 1 variasi jumlah bahan bakar yaitu: 1.599; 1.561 dan 1.467 kg, pada skema 2 variasi jumlah bahan bakar yaitu: 1.051; 1.175 dan 1.527 kg, dan pada skema 3 variasi jumlah bahan bakar yaitu: 1.192; 1.159 dan 1.494 kg.**

***Kata kunci* — Tungku Gasifikasi, Biomassa, Water Boiling Test**

I. PENDAHULUAN

Permintaan dan konsumsi energi meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan berkembangnya perekonomian masyarakat. Di Indonesia, kebutuhan dan konsumsi energi fokus pada penggunaan bahan bakar minyak yang cadangannya semakin menipis. Oleh karena itu, untuk mengatasi permasalahan kenaikan harga minyak dan gas serta terbatasnya cadangan, diperlukan upaya terencana dan tepat sasaran untuk mencari sumber energi alternatif. Di antara sumber energi alternatif tersebut ada energi biomassa. Energi biomassa merupakan sumber energi yang patut mendapat prioritas pengembangan. Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang tidak terbarukan, sehingga penggunaan bahan bakar kompor tidak selamanya bergantung pada bahan bakar tersebut. Biomassa dapat berasal dari tanaman perkebunan atau pertanian, hutan, peternakan atau bahkan sampah. Biomassa dapat digunakan untuk menghasilkan panas, bahan bakar dan menghasilkan listrik hal ini disebut *bioenergy* [1].

II. KAJIAN TEORI

2.1 Energi. Biomassa

Energi biomassa merupakan salah satu jenis energi alternatif yang mencakup beberapa unsur energi baru terbarukan. Energi biomassa menggunakan sejumlah bahan seperti sekam padi, tongkol jagung, serbuk kayu, ampas tebu, cangkang sawit dan limbah pertanian lainnya untuk menghasilkan energi. Pengembangan energi biomassa jenis ini dilakukan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga.

2.2. Pellet Kayu

Pelet kayu adalah serpihan kayu atau limbah produksi yang telah dikeringkan sebelumnya dengan diameter sekitar 6-8 mm dengan panjang sebesar 10-30 mm. Serpihan kayu tersebut kemudian diolah tanpa dicampur bahan kimia dan dipres dengan tekanan tinggi menggunakan mesin khusus. Pelet katu menghasilkan panas sekitar 4,9 kwh/kg karena memiliki kadar air yang rendah yaitu sekitar 8-10%, kadar

abu sekitar 0,5-1% dan kepadatan sekitar 650 kg/m^3. Menurut Leaver (2008), satu kilogram pelet kayu dapat menghasilkan panas setara dengan panas yang dihasilkan oleh setengah liter bahan bakar minyak. t [5].

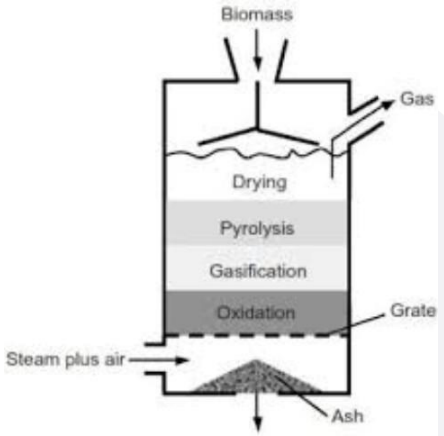
2.3. Gasifikasi

2.3.1. Pengertian Gasifikasi

Gasifikasi adalah proses pengubahan bahan bakar menjadi gas yang mudah terbakar (CO, CH4 dan H2) melalui pembakaran dengan pasokan udara terbatas (20 hingga 40% udara stoikiometri). Gasifikasi adalah proses kimia yang mengubah bahan karbon menjadi gas yang mudah terbakar. Berdasarkan definisi tersebut, bahan bakar yang digunakan untuk gasifikasi menggunakan bahan yang mengandung hidrokarbon seperti batu bara, minyak bumi (petroleum coke), dan biomassa. Seluruh proses gasifikasi berlangsung dalam reaktor gasifikasi yang disebut gasifier. Pada gasifier ini terjadi pemanasan sampai suhu reaksi tertentu, setelah itu bahan bakar mengalami pembakaran dengan cara bereaksi dengan oksigen sehingga menghasilkan bahan bakar gas dan sisa pembakaran lainnya.

[6]

2.3.2. Tungku Gasifikasi Jenis *Updraft*



Gambar 2.1 Skema Tungku Gasifikasi *Updraft* (sumber : Jurnal Uin Suska Riau)

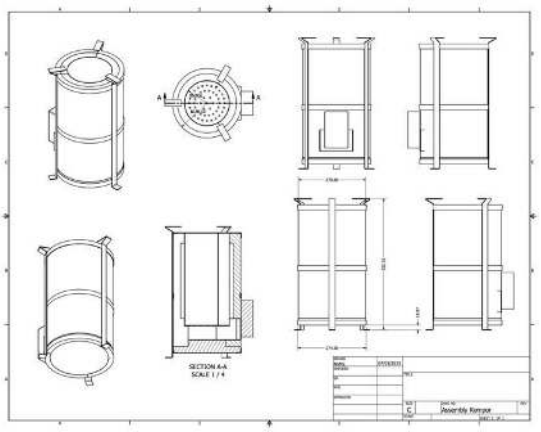
Tungku gasifikasi *updraft* merupakan tungku gasifikasi yang umum digunakan secara luas. Ciri khas dari tungku gasifikasi ini adalah aliran udara dari *blower* masuk melalui bagian bawah reaktor melalui *grate* sedangkan aliran bahan bakar masuk dari bagian atas tungku sehingga arah aliran udara dan bahan bakar memiiki prinsip yang berlawanan (*counter current*). Kelebihan dari tungku gasifikasi *updraft* adalah mekanisme kerja yang dimiliki oleh tungku gasifikasi tipe ini jauh lebih sederhana dibandingkan dengan tipe yang lain, sedangkan dengan mekanisme kerja yang lebih sederhana tersebut, ternyata tingkat toleransi tungku terhadap tingkat kekasaran bahan bakar lebih baik. Selain itu jenis tungku ini memiliki kemampuan untuk mengolah bahan bakar kualitas rendah dengan temperatur gas keluaran relatif rendah dan memiliki efisiensi yang tinggi akibat dari panas gas keluar tungku memiliki temperatur yang relatif rendah. Sedangkan kelemahan tungku gasifikasi *updraft* adalah tingkat kadar tar dalam *syngas* hasil reaksi relatif cukup tinggi sehingga mempengaruhi kualitas dari gas yang dihasilkan serta kemampuan muatan reaktor yang relatif rendah [7].

III. METODE

A. *Water Boiling Test*

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *water boiling test*. Metode *water boiling test* (WBT) merupakan proses pengujian penguapan air untuk melakukan perhitungan efisiensi termal yang dihasilkan oleh tungku gasifikasi yang dibuat. Metode *water boiling test* dipilih sebagai metode untuk proses pengujian tungku gasifikasi karena metode *water boiling test* merupakan metode yang sederhana dan cepat dimana menggunakan air sebagai media uji nya. Metode WBT telah memberikan informasi awal tentang tungku gasifikasi berkaitan dengan *power input*, *sensible heat*, *latent heat*, efisiensi termal, *fuel consumption rate* (FCR), dan *power output* [1].

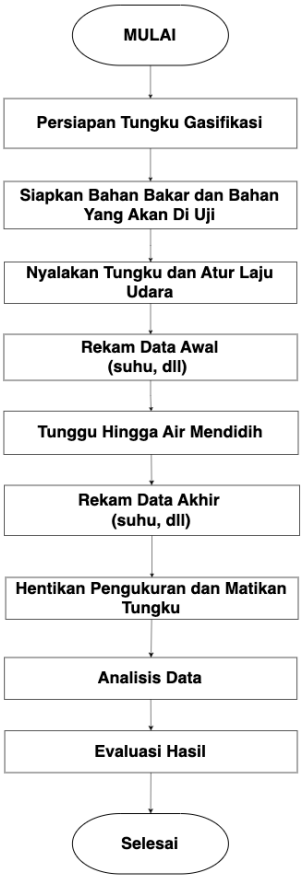
B. Rencana Desain Sistem Tungku Gasifikasi *Updraft*



Gambar 3.1 Assembly Tungku Gasifikasi *Updraft* Berbahan Semen

Pada gambar 3.1 menunjukkan rancang bangun dari tungku gasifikasi jenis *updraft* berbahan semen. Pada gambar diatas, tungku gasifiksi ini terdiri dari dua bagian yaitu tabung luar yang berdimensi dengan tinggi sebesar 522.91, diameter jari-jari sebesar 138.00 dan lebar sebesar 274.00. Sedangkan tabung dalam yang berdimensi dengan tinggi sebesar 522.91, diameter jari-jari sebesar 90.00, dan lebar sebesar 270.00.

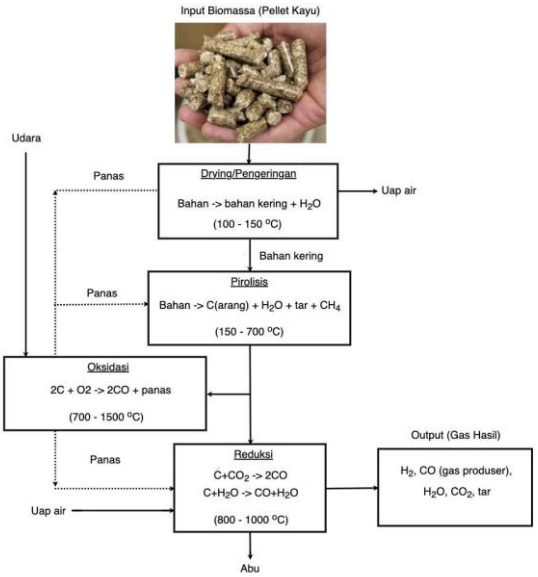
C. *Flowchart* Penggunaan Tungku Gasifikasi *Updraft* Berbahan Semen



Gambar 3.2 *Flowchart* Pengujian

Pada gambar 3.2 menunjukkan *flowchart* penggunaan tungku gasifikasi jenis *updraft* berbahan semen. Pengujian tungku gasifikasi dimulai dengan mempersiapkan alat dan bahannya seperti, tungku gasifikasi jenis *updrafraft*, pellet kayu sebagai bahan bakar, termometer, sarung tangan tahan panas, sekop kecil, alat pengukur volume air, timbangan dan wadah penampung air atau panci. Setelah alat dan bahan disiapkan, kemudian nyalakan tungku gasifikasi *updraft* dan atur laju udara yang masuk ke dalam tungku gasifikasi *updraft*. Kemudian siapkan bahan yang akan diuji, pada pengujian ini menggunakan air sebagai bahan yang akan diuji. Catat data awal seperti suhu awal air. Kemudian tunggu air hingga mencapai titik *boiling time* atau waktu didih dan catat suhu akhir air. Setelah itu hentikan pengukuran dan matikan tungku dan lakukan analisis data beserta evaluasi hasil dari pengujian tungku gasifikasi updraft.

3.4 Tahapan Gasifikasi



Gambar 3.3 Diagram Alir Proses Gasifikasi

Pada gambar 3.3 menjelaskan tahapan dari suatu proses gasifikasi. Proses gasifikasi terdapat empat tahapan yaitu: *drying*/pengeringan, pirolisis, oksidasi, dan reduksi dengan rentang temperatur masing-masing yaitu: pengeringan (100 - 150ºC), pirolisis (150 - 700ºC), oksidasi (700 - 1500ºC) dan reduksi (800 - 1000ºC).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Skema Pengujian

Pengujian tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen dilakukan untuk mengevaluasi kinerja, efisiensi dan karakteristik operasional dari suatu sistem tungku gasifikasi. Tujuan pengujian ini untuk mendapatkan pemahaman yang mendalam tentang seberapa baik tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen dapat mengkonversi bahan bakar menjadi energi panas yang bermanfaat atau gas yang dapat digunakan.

Pada penelitian ini, pengujian dilakukan dengan membandingkan tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen yang dirancang dengan tungku gasifikasi *updraft* yang telah beredar di pasaran dan pengujiannya dilakukan dengan metode *water boiling test*. Pengujian dilakukan dengan 3 skema yang berbeda dengan masing-masing skema dilakukan dengan 3 kali pengujian dengan menggunakan jumlah bahan bakar yang berbeda setiap pengujian dan air massa air yang sama di setiap pengujian yaitu sebesar 2kg.

Langkah-langkah pengujian tungku gasifikasi *updraft* dengan metode *water boiling test* sebagai berikut:

- Sediakan pellet kayu untuk dijadikan bahan bakar
- Menyiapkan panci sebagai wadah air
- Siapkan air dan alat pengukur air untuk mengukur jumlah air setelah itu dimasukkan ke dalam panci
- Mengisi bahan bakar ke dalam tabun reaktor
- Siapkan selembar kertas untuk dinyalakan sebagai pemicu awal dalam *startup* hingga pellet kayu terbakar
- Siapkan *stopwatch* untuk menghitung total waktu operasi selama pengujian
- Apabila semua peralatan untuk mendukung proses pengujian sudah tersedia maka langkah selanjutnya menyalakan kompor

- Amati proses *startup* apakah sudah sempurna
- Ketika nyala api sudah terbentuk maka dilakukan pendidihan air dan amati lama waktu proses pendidihan air dengan menggunakan *stopwatch*.
- Pengujian dilakukan 3 kali dengan jumlah bahan bakar yang berbeda di setiap pengujiannya

4.2 Pengujian Tungku Gasifikasi *Updraft*

4.2.1. Pengujian skema 1 menggunakan tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen yang dirancang menggunakan *blower*

Tabel 4.1 Parameter Input Pengujian Tungku Gasifikasi *Updraft* Berbahan Semen Menggunakan *Blower*

Urutan Pengujian	Jumlah Bahan Bakar Yang Digunakan (kg)	Jumlah Air Yang Digunakan (kg)
1	1.599	2
2	1.561	2
3	1.467	2

Tabel 4.1 menyajikan parameter masukan yang digunakan dalam penelitian ini. Pengujian dilakukan dengan menggunakan jumlah bahan bakar yang berbeda beda.

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Tungku Gasifikasi *Updraft* Berbahan Semen Menggunakan *Blower*

Urutan Pengujian	Jumlah Air Yang Digunakan (kg)	Jumlah Bahan Bakar Yang Dimasukkan Ke Dalam Tungku (kg)	Sisa Bahan Bakar (gram)	Jumlah Bahan Bakar Yang Digunakan (kg)	Suhu Awal (°C)	Suhu Akhir (°C)	Fuel Start Up (menit)	Boiling Time (menit)	Jumlah Air Setelah Pembakaran (kg)	Abu Setelah Pembakaran (gram)	Total Operating Time (menit)
1	2	2.077	478	1.599	23.7	100	5	10	0.85	46.4	60
2	2	2.013	452	1.561	23.7	100	5	14	0.9	43.3	47
3	2	2.252	785	1.467	23.7	100	7	9	1.1	40.7	42
rata-rata	2	2.114	571.66	1.542	23.7	100	5.6	11	0.95	43.5	49.6

Tabel 5.2 menunjukkan data hasil pengujian menggunakan metode *water boiling test* (WBT). Percobaan dilakukan sebanyak tiga kali dengan jumlah bahan bakar yang berbeda-beda disetiap pengujiannya. Berdasarkan data pengujian didapatkan hasil pengujian pertama dengan jumlah bahan bakar yang digunakan sebesar 1.599 kg menunjukkan total *operating time* yang paling tinggi yaitu sebesar 60 menit. Hal tersebut disebabkan karena adanya penggunaan bahan bakar yang lebih banyak dibandingkan pengujian yang lain sehingga semakin banyak bahan bakar yang digunakan maka semakin lama juga tungku gasifikasi dapat beroperasi. Pada pengujian kedua dengan jumlah bahan bakar yang digunakan sebesar 1.561 kg menunjukkan total *operating time* sebesar 47 menit hal ini disebabkan oleh penggunaan jumlah bahan bakar yang lebih sedikit dari pengujian yang pertama. Sama seperti pengujian kedua, pengujian ketiga juga menggunakan bahan bakar yang lebih sedikit yaitu sebesar 1.467 kg hal tersebut dapat mempengaruhi waktu operasi dari tungku gasifikasi yaitu sebesar 42 menit. Namun perbedaan dari total *operating time* dari ketiga pengujian tersebut tidaklah signifikan.

Selanjutnya pada pengujian air sebesar 2 kg dengan jumlah bahan bakar 1.467 kg membutuhkan waktu yang lebih cepat dalam proses pendidihan air yaitu sebesar 9 menit, hal ini disebabkan jumlah bahan bakar yang dimasukkan ke dalam tungku lebih banyak dibandingkan pengujian yang lain yaitu sebesar 2.252 kg dan juga disebabkan oleh penggunaan *blower,* karena dengan penggunaan *blower* dapat menambah pasokan udara ke dalam tungku sehingga mempengaruhi proses *boiling*. Selain itu jumlah bahan bakar yang dimasukkan ke dalam tungku sangatlah berpengaruh pada proses *boiling time* sebab nyala api pada pengujian tersebut lebih dekat dengan panci/bejana yang digunakan sehingga membuat proses *boiling* lebih cepat. Sedangkan pada pengujian air sebesar 2 kg dengan jumlah bahan bakar sebesar 1.561 kg membutuhkan waktu yang lebih lama dalam proses pendidihan air yaitu sebesar 14 menit. Hal tersebut disebabkan oleh jumlah bahan bakar yang dimasukkan ke dalam tungku lebih sedikit dibandingkan pengujian lainnya.

Pada proses *fuel startup*, pengujian dengan jumlah bahan bakar sebesar 1.599 kg dan 1.561 kg lebih cepat yaitu sebesar 5 menit. Hal tersebut disebabkan oleh penggunaan *blower* pada tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen dan juga dipengaruhi oleh jumlah bahan bakar yang dimasukkan ke dalam tungku pada saat pengujian yaitu sebesar 2.077 kg dan 2.103 kg. Karena penggunaan bahan bakar yang lebih sedikit dapat mempengaruhi proses nyala api (*fuel startup*) dan penggunaan *blower* pada tungku dapat menambah pasokan udara ke dalam tungku lebih banyak sehingga proses nyala api lebih cepat dibandingkan tungku non *blower*.

Dan yang terakhir abu yang dihasilkan, pada pengujian pertama dengan bahan bakar yang digunakan sebesar 1.599 kg lebih besar dibandingkan pengujian lainnya yaitu sebesar 46.4 gram. Hal tersebut disebabkan oleh waktu operasi tungku yang lebih lama dibandingkan pengujian lainnya sehingga abu yang dihasilkan lebih banyak karena bahan bakar yang digunakan juga lebih banyak.

4.2.2. Pengujian skema 2 menggunakan tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen yang dirancang tanpa menggunakan *blower*

Tabel 4.3 Parameter Input Pengujian Tungku Gasifikasi *Updraft* Berbahan Semen Tanpa Menggunakan *Blower*

Urutan Pengujian	Jumlah Bahan Bakar Yang Digunakan (kg)	Jumlah Air Yang Digunakan (kg)
1	1.051	2
2	1.175	2
3	1.527	2

Tabel 4.3 menyajikan parameter masukan yang digunakan dalam penelitian. Pengujian menggunakan jumlah bahan bakar yang berbeda-beda

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Tungku Gasifikasi *Updraft* Berbahan Semen Tanpa Menggunakan *Blower*

Urutan Pengujian	Jumlah Air Yang Digunakan (kg)	Jumlah Bahan Bakar Yang Dimasukkan Ke Dalam Tungku (kg)	Sisa Bahan Bakar (gram)	Jumlah Bahan Bakar Yang Digunakan (kg)	Suhu Awal (°C)	Suhu Akhir (°C)	Fuel Start Up (menit)	Boiling Time (menit)	Jumlah Air Setelah Pembakaran (kg)	Abu Setelah Pembakaran (gram)	Total Operating Time (menit)
1	2	1.769	718	1.051	23.7	100	16	23	1.5	38.5	41
2	2	1.786	611	1.175	23.7	100	16	21	1.5	38.7	43
3	2	2.100	573	1.527	23.7	100	19	18	1.2	41.2	57
rata-rata	2	1.885	634	1.251	23.7	100	17	20.6	1.4	39.4	47

Tabel 4.5 menyajikan hasil pengujian dengan metode uji air mendidih (WBT). Percobaan dilakukan sebanyak tiga kali dengan jumlah bahan bakar yang berbeda pada setiap pengujian. Berdasarkan data pengujian, hasil pengujian ketiga menunjukkan jumlah bahan bakar yang digunakan sebanyak 1.527 kg dengan total waktu pengoperasian tertinggi 57 menit. Hal ini dikarenakan bahan bakar yang digunakan lebih banyak dibandingkan pengujian lainnya, sehingga semakin banyak bahan bakar yang digunakan maka gasifier dapat beroperasi lebih lama. Pada pengujian pertama dengan penggunaan bahan bakar 1.051 kg, total

waktu pengoperasian menjadi yang terpendek yaitu 41 menit karena penggunaan bahan bakar yang lebih sedikit.

Selanjutnya pada pengujian 2 kg air dengan jumlah bahan bakar 1527 kg, proses perebusan air memerlukan waktu yang lebih cepat yaitu 18 menit, karena jumlah bahan bakar yang dimasukkan ke dalam tungku lebih besar dibandingkan pada pengujian lainnya, yaitu mungkin 2.100 kg. Banyaknya bahan bakar yang dimasukkan ke dalam tungku sangat mempengaruhi waktu perebusan karena nyala api pada pengujian ini lebih dekat dengan panci/wadah yang digunakan. Namun waktu yang dibutuhkan pada pengujian ini lebih lama dibandingkan dengan pengujian tungku blower, karena penggunaan blowe dapat menambah jumlah udara yang dialirkan ke dalam tungku sehingga mempercepat proses perebusan

Pada proses *fuel startup*, masing-masing pengujian membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan pengujian pada tungku gasifikasi menggunakan *blower* yaitu pada pengujian pertama dan kedua dengan bahan bakar sebesar 1.051 kg dan 1.175 membutuhkan waktu sebesar 16 menit dan pada pengujian ketiga dengan bahan bakar sebesar 1.527 kg membutuhkan waktu sebesar 19 menit. Hal tersebut disebabkan karena pasokan udara ke dalam tungku dari tungku gasifikasi tanpa *blower* lebih sedikit dibandingkan pasokan udara ke dalam tungku dari tungku gasifikasi menggunakan *blower* sehingga membuat proses *fuel startup* atau nyala api lebih lama.

Dan yang terakhir abu yang dihasilkan, pada pengujian ketiga dengan bahan bakar yang digunakan sebesar 1.527 kg lebih besar dibandingkan pengujian lainnya yaitu sebesar 41.2 gram. Hal tersebut disebabkan oleh waktu operasi tungku yang lebih lama dibandingkan pengujian lainnya sehingga abu yang dihasilkan lebih banyak karena bahan bakar yang digunakan juga lebih banyak.

4.2.3. Pengujian skema 3 menggunakan tungku gasifikasi *updraft* yang telah beredar dipasaran

Tabel 4.5 Parameter Input Pengujian Tungku Gasifikasi *Updraft* Yang Telah Beredar Dipasaran

Urutan Pengujian	Jumlah Bahan Bakar (kg)	Jumlah Air Yang Digunakan (kg)
1	1.192	2
2	1.159	2
3	1.494	2

Tabel 4.5 menyajikan parameter masukan yang digunakan dalam penelitian. Pengujian menggunakan jumlah bahan bakar yang bebeda-beda.

Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian Tungku Gasifikasi *Updraft* Yang Telah Beredar Dipasaran

Urutan Pengujian	Jumlah Air Yang Digunakan (kg)	Jumlah Bahan Bakar Yang Dimasukkan Ke Dalam Tungku (kg)	Sisa Bahan Bakar (gram)	Jumlah Bahan Bakar Yang Digunakan (kg)	Suhu Awal (°C)	Suhu Akhir (°C)	Fuel Start Up (menit)	Boiling Time (menit)	Jumlah Air Setelah Pembakaran (kg)	Abu Setelah Pembakaran (gram)	Total Operating Time (menit)
1	2	1.521	329	1.192	23.7	100	16	18	1.6	39.6	44
2	2	1.374	215	1.159	23.7	100	14	18	1.6	39.0	41
3	2	1.923	492	1.494	23.7	100	19	16	1.4	42.8	46
rata-rata	2	1.606	345.3	1.281	23.7	100	16.3	17.3	1.53	40.4	43.6

Tabel 4.6 menunjukkan data hasil pengujian menggunakan metode *water boiling test* (WBT). Percobaan dilakukan sebanyak tiga kali dengan jumlah bahan bakar yang berbeda. Berdasarkan data pengujian didapatkan hasil pengujian ketiga dengan jumlah bahan bakar yang digunakan sebesar 1.494 kg menunjukkan total *operating time* yang paling tinggi yaitu sbesar 46 menit. Hal tersebut disebabkan karena adanya penggunaan bahan bakar yang lebih banyak dibandingkan pengujian yang lain sehingga semakin banyak bahan bakar yang digunakan maka semakin lama juga tungku gasifikasi dapat beroperasi. Pada pengujian kedua dengan jumlah bahan bakar yang digunakan sebesar 1.159 kg menunjukkan total *operating time* yang paling rendah yaitu sebesar 41 menit hal ini disebabkan oleh penggunaan jumlah bahan bakar yang lebih sedikit.

Selanjutnya pada pengujian air sebesar 2 kg dengan jumlah bahan bakar sebesar 1.494 kg membutuhkan waktu yang lebih cepat dalam proses pendidihan air yaitu sebesar 18 menit, hal ini disebabkan oleh jumlah bahan bakar yang dimasukkan ke dalam tungku lebih banyak dari pengujian lainnya sehingga membuat tungku menjadi penuh sehingga nyala api dari tungku lebih dekat dengan panci/bejana yang digunakan. Akan tetapi sama seperti tungku gasifikasi semen tanpa *blower*, pada pengujian tungku gasifikasi konvensional ini juga tanpa menggunakan *blower* sehingga menyebabkan proses *boiling time* lebih lama dibandingkan dengan tungku gasifikasi semen yang menggunakan *blower*.

Sama seperti pengujian tungku gasifikasi semen tanpa *blower*, pada proses *fuel startup* masing-masing pengujian pada tungku gasifikasi konvensional membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan tungku gasifikasi semen menggunakan *blower* yaitu pada pengujian pertama dengan bahan bakar yang digunakan sebesar 1.192 kg membutuhkan waktu sebesar 16 menit, pada pengujian kedua dengan bahan bakar yang digunakan sebesar 1.159 kg membutuhkan waktu sebesar 14 menit dan pengujian ketiga dengan bahan bakar yang digunakan sebesar 1.494 kg membutuhkan waktu sebesar 19 menit. Hal tersebut disebabkan karena pasokan udara yang masuk ke dalam tungku lebih sedikit dibandingkan pasokan udara yang masuk ke dalam tungku yang menggunakan *blower*. Selain itu jumlah bahan bakar yang digunakan juga berpengaruh terhadap proses *startup,* karena semakin sedikit jumlah bahan bakar yang digunakan maka proses pembakaran bahan bakar akan semakin cepat sehingga proses nyala api semakin cepat pula.

Dan yang terakhir abu yang dihasilkan, pada pengujian ketiga dengan bahan bakar yang digunakan sebesar 1.494 kg lebih besar dibandingkan pengujian lainnya yaitu sebesar 42.8 kg. Hal tersebut disebabkan oleh waktu operasi tungku yang lebih lama dibandingkan pengujian lainnya sehingga abu yang dihasilkan lebih banyak karena bahan bakar yang digunakan juga lebih banyak.

4.3 Analisis Hasil Pengujian Tungku Gasifikasi *Updraft*

Hasil analisis didapatkan beberapa nilai parameter dengan mengambil nilai rata-rata dari hasil pengujian yang telah dipaparkan sebelumnya sebagai berikut:

Tabel 4.7 Parameter *Output* Hasil Perhitungan Pada Pengujian Tungku Gasifikasi Updraft

Urutan Pengujian	Jumlah Rata Rata Bahan Bakar Yang Digunakan (kg)	FCR (kg/h)	SH (kCal)	LH (kCal)	QF (kCal)
Tungku Gasifikasi *Updraft* Berbahan Semen laMenggunakan *Blower*	1.542	1.865	152.6	752.85	7401.6
Tungku Gasifikasi *Updraft* Berbahan Semen Tanpa Menggunakan *Blower*	1.251	1.597	152.6	430.2	6004.8
Tungku Gasifikasi *Updraft* Berbahan *Stainless Steel* (Tungku Konvensional)	1.281	1.763	152.6	336.99	6148.8

Tabel 4.7 menunjukkan parameter *output* hasil perhitungan pada pengujian tungku gasifikasi. Nilai perhitungan parameter *output* diambil dari nilai rata-rata dari setiap hasil pengujian yang telah dipaparkan sebelumnya. Pada tabel diatas menunjukkan bahwa tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen menggunakan *blower* dengan jumlah rata-rata bahan bakar yang digunakan sebesar 1.542 kg memiliki nilai FCR atau *fuel consumption rate* lebih tinggi yaitu sebesar 1.865 kg/h. Hal tersebut disebabkan karena jumlah rata-rata bahan bakar yang digunakan pada pengujian tersebut lebih banyak dibandingkan dengan pengujian lainnya. Selain itu nilai rata-rata dari total waktu operasi tungku pada pengujian tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen menggunakan *blower* juga berpengaruh terhadap nilai FCR dari pengujian tersebut. Nilai rata-rata dari total waktu operasi tungku pada pengujian tersebut sebesar 49.6 menit. Sedangkan pada pengujian tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen tanpa menggunakan *blower* menghasilkan nilai FCR lebih rendah dibandingkan dua pengujian lainnya yaitu sebesar 1.597 kg/h. Hal ini disebabkan karena jumlah rata-rata bahan bakar yang digunakan lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah rata-rata bahan bakar yang digunakan pada pengujian lainnya.

Untuk nilai SH atau *sensible heat* dari ketiga pengujian tersebut memiliki nilai yang sama yaitu sebesar 152.6 kcal. Hal tersebut disebabkan oleh jumlah air yang digunakan dari masing-masing pengujian tungku bernilai sama yaitu sebesar 2 kg.

Selanjutnya nilai LH atau *latent heat* atau panas laten pada pengujian tungku gasifikasi berbahan semen baik pengujian tungku gasifikasi berbahan semen menggunakan *blower* maupun tanpa menggunakan *blower* lebih tinggi dibandingkan tungku konvensional yang terbuat dari *stainless steel* yaitu pada tungku semen menggunakan *blower* sebesar 752.85 kcal dan pada tungku semen tanpa *blower* sebesar 430.2 kcal. Hal tersebut disebabkan oleh konstruksi tungku yang terbuat dari semen dan tungku yang terbuat dari *stainless steel* memiliki konduktivitas termal yang berbeda. Konduktivitas termal pada tungku gasifikasi berbahan semen lebih rendah daripada tungku gasifikasi berbahan *stainless steel* sehingga menyebabkan tungku gasifikasi berbahan semen lebih lambat menyerap dan merespon perubahan suhu yang mengakibatkan meningkatnya nilai LH atau panas laten.

Dan yang terakhir nilai QF dari tungku gasifikasi berbahan semen menggunakan *blower* lebih tinggi dibandingkan dua pengujian lainnya yaitu sebesar 7401.6 kcal. Hal tersebut disebabkan karena pada pengujian tersebut terdapat penggunaan *blower* yang dapat meningkatkan aliran udara yang disuplai ke dalam tungku sehingga dapat mengoptimalkan kondisi pembakaran yang lebih efisien dan dapat menghasilkan lebih banyak panas dan menghasilkan nilai QF yang lebih tinggi. Pada pengujian tungku gasifikasi berbahan semen tanpa menggunakan *blower* lebih rendah dibandingkan dengan pengujian tungku gasifikasi berbahan semen menggunakan *blower,* hal tersebut terjadi karena kurangnya suplai udara ke dalam tungku sehingga panas yang dihasilkan lebih sedikit yang mengakibatkan nilai QF menjadi rendah. Sedangkan pada tungku gasifikasi berbahan *stainless steel* (tungku konvensional) memiliki nilai QF yang lebih tinggi daripada nilai QF pada pengujian tungku gasifikasi berbahan semen tanpa menggunakan *blower* yaitu sebesar 6148.8 kcal. Hal tersebut disebabkan oleh konduktivitas termal yang relatif tinggi. Karena konduktivitas termal yang tinggi dapat mengakibatkan kehilangan panas yang lebih besar melalui dinding tungku yang dapat mengurangi nilai QF.

Tabel 4.8 Daya dan Efisiensi Tungku Gasifikasi *Updraft*

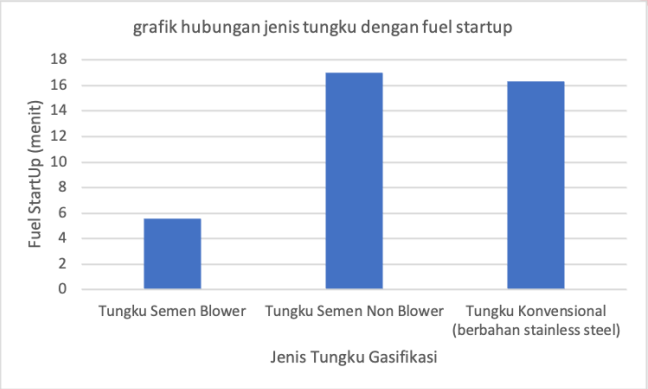
No	Pi (kW)	Po (kW)	TE (%)
Tungku Gasifikasi *Updraft* Berbahan Semen Menggunakan *Blower*	10.7424	1.2721	12.23
Tungku Gasifikasi *Updraft* Berbahan Semen Tanpa Menggunakan *Blower*	9.1987	0.8640	9.7
Tungku Gasifikasi *Updraft* Berbahan *Stainless Steel* (Tungku Konvensional)	10.1548	0.7827	7.96

Tabel 4.8 menunjukkan nilai daya dan efisiensi dari pengujian tungku gasifikasi *updraft.* Pada tabel diatas menunjukkan nilai Pi (*power input*) dari tungku gasifikasi berbahan semen menggunakan *blower* lebih tinggi yaitu sebesar 10.7424 kw. Hal tersebut disebabkan karena adanya penggunaan *blower* yang dapat meningkatkan aliran udara yang disuplai ke dalam tungku dan memungkinkan pembakaran bahan bakar menjadi lebih efisien. Peningkatan aliran udara tersebut membutuhkan lebih banyak daya untuk mengoperasikan *blower,* sehingga nilai Pi pada pengujian tersebut lebih tinggi. Sedangkan pada pengujian tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen tanpa menggunakan *blower* memiliki nilai Pi yang lebih rendah yaitu sebesar 9.1987 kw. Hal tersebut disebabkan tungku gasifikasi berbahan semen non *blower* mengalami keterbatasan dalam pasokan udara tambahan. Kurangnya aliran udara tambahan dapat mengakibatkan pembakaran yang kurang efisien, sehingga akhirnya memerlukan lebih sedikit daya *input.*

Sedangkan pada nilai Po (*power output*) tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen menggunakan *blower* memiliki nilai Po yang lebih tinggi yaitu sebesar 1.2721 kw. Hal ini disebabkan karena penggunaan *blower* dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dengan menyediakan pasokan udara yang optimal untuk pembakaran bahan bakar sehingga pembakaran yang dihasilkan lebih efisien dan menghasilkan lebih banyak panas yang dapat meningkatkan nilai Po. Sedangkan pada tungku gasifikasi *updraft* berbahan *stainless steel* (tungku konvensional) memiliki nilai Po yang lebih rendah yaitu sebesar 0.7827 kw. Hal tersebut disebabkan karena bahan yang digunakan dalam pembuatan tungku yaitu *stainless steel* yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi yang dapat menyebabkan banyak panas hilang melalui dinding tungku sehingga dapat mengurangi nilai Po. Sama seperti pengujian tungku gasifikasi berbahan *stainless steel,* pada pengujian tungku gasifikasi berbahan

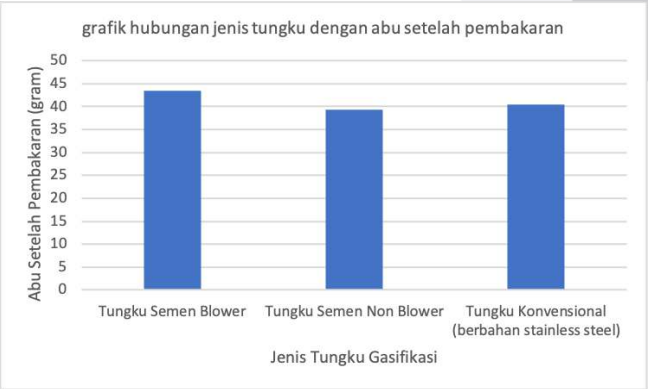
semen tanpa menggunakan *blower* juga memiliki nilai Po yang rendah yaitu sebesar 0.8640 kw. Hal tersebut disebabkan oleh pasokan udara ke dalam tungku lebih terbatas sehingga ketersediaan oksigen untuk pembakaran bisa kurang optimal dibandingkan dengan tungku gasifikasi berbahan semen menggunakan *blower*. Pembakaran yang kurang efisien dapat menghasilkan lebih sedikit panas yang dapat mengurangi nilai Po.

Dan yang terakhir nilai TE atau efisiensi termal pada pengujian tungku gasifikasi berbahan semen dengan *blower* lebih tinggi yaitu sebesar 12.23%. Hal tersebut disebabkan karena penggunaan *blower* dapat meningkatkan aliran udara ke dalam tungku, memberikan oksigen yang lebih untuk pembakaran bahan bakar yang lebih efisien. Karena pembakaran yang efisien lebih banyak emnghasilkan panas dari jumlah bahan bakar yang digunakan sehingga dapat menignkatkan nilai efisiensi termal. Sedangkan nilai efisiensi termal pada pengujian tungku gasifikasi berbahan *stainless steel* lebih rendah yaitu sebesar 7.96%. Hal tersebut disebabkan karena ketersediaan oksigen untuk pembakaran pada pengujian tersebut kurang optimal. Ketersediaan oksigen yang kurang dapat mengurangi efisiensi pembakaran dan nilai dari efisiensi termal.



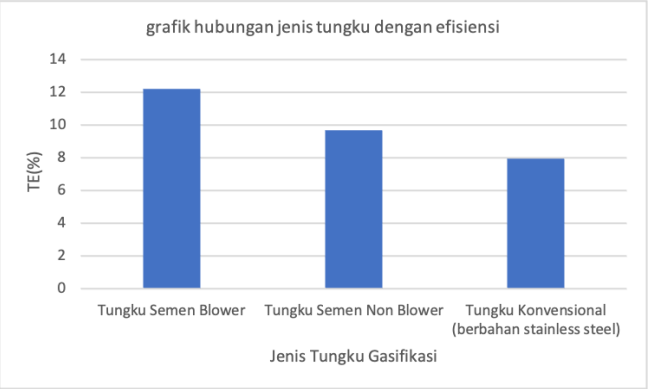
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Jenis Tungku Dengan *Fuel Startup*

Pada gambar 4.1 diatas menunjukkan waktu yang diperlukan tungku gasifikasi untuk proses *startup*. Pada gambar tersebut tungku berbahan semen dengan menggunakan *blower* memiliki nilai *fuel startup* lebih cepat dibandingkan dengan tungku berbahan semen non *blower* dan tungku berbahan *stainless steel* (tungku konvensional). Hal tersebut disebabkan karena adanya pengunaan *blower* yang dapat meningkatkan aliran udara yang lebih banyak dan membantu memulai pembakaran bahan bakar lebih cepat.



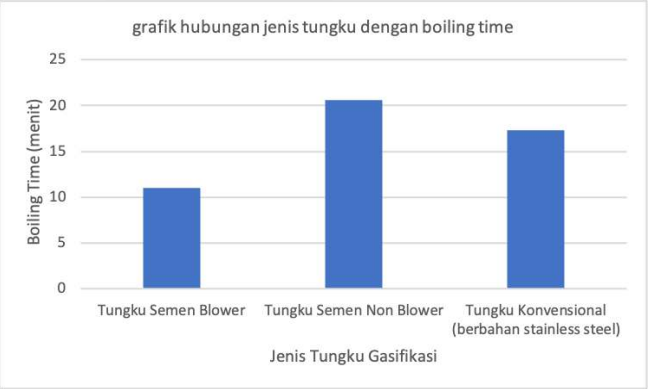
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Jenis Tungku Dengan Abu Setelah Pembakaran

Pada gambar 4.2 menunjukkan abu setelah pembakaran yang dihasilkan dari masing-masing pengujian tungku gasifikasi. Abu yang dihasilkan dari ketiga pengujian tidaklah jauh berbeda. Hal itu disebabkan karena nilai rata-rata *operating time* dari masing-masing tungku juga tidak jauh berbeda. Akan tetapi pada grafik tersebut tungku berbahan semen menggunakan *blower* lebih banyak menghasilkan abu setelah pembakaran dibandingkan dengan tungku berbahan semen tanpa menggunakan *blower*.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Jenis Tungku Dengan Efisiensi

Pada gambar 4.3 menunjukkan nilai efisiensi dari pengujian masing-masing tungku gasifikasi. Pada grafik tersebut tungku berbahan semen menggunakan *blower* memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan tungku yang lain. Hal tersebut disebabkan karena penggunaan *blower* dapat meningkatkan aliran udara ke dalam tungku dan memberikan oksigen yang lebih untuk pembakaran bahan bakar sehingga lebih efisien. Pembakaran yang lebih efisien menghasilkan lebih banyak panas yang dapat meningkatkan nilai efisiensi termal.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Jenis Tungku Dengan *Boiling Time*

Pada gambar 4.4 menunjukkan waktu *boiling time* pada pengujian dari masing-masing tungku gasifikasi. Pada grafik diatas menunjukkan waktu *boiling* yang lebih cepat terjadi pada pengujian tungku gasifikasi berbahan semen menggunakan *blower*. Hal ini terjadi karena dengan adanya penggunaan *blower* dapat meningkatkan aliran ke dalam tungku, sehingga oksigen yang masuk ke dalam tungku untuk proses pembakaran lebih banyak. Selain itu *blower* juga dapat membantu mendistribusikan panas secara merata di dalam tungku. Panas yang merata dapat mempercepat pemanasan keseluruhan tungku termasuk air yang akan dipanaskan.

V. KESIMPULAN

Pada pengujian yang telah dilakukan, bisa disimpulkan jika tungku gasifikasi updraft berbahan semen dengan menggunakan *blower* jauh lebih unggul dibandingkan tungku gasifikasi berbahan semen tanpa *blower* dan tungku gasifikasi berbahan *stainless steel* (tungku konvensional). Keunggulan dari tungku gasifikasi berbahan semen dengan menggunakan *blower* yakni waktu *boiling* nya lebih cepat dibandingkan tungku yang lain, memiliki efisinesi termal yang lebih baik daripada tungku yang lain, dan membutuhkan waktu *fuel startup* yang lebih cepat dibandingkan dengan tungku yang lain.

REFERENSI

[1] Aryansyah, F., Santoso, H., & Nurdin, F. (2022). "Analisis Efisiensi Termal Pada Kompor Biomassa Dengan Menggunakan *Water Boiling Test (WBT)*". *Journal Bearings: Borneo Mechanical Engineering and Science*, 1(1).

[2] Imaduddin, I., Lanya, B., & Haryanto, A. (2013). "Pengujian Kompor Gasifikasi Biomassa Dengan Tiga Jenis Bahan Bakar". Jurnal Ilmiah Teknik Pertanian, 5(1).

[3] Djafar, R., Djamalu, Y., Haluti, S., & Botutihe, S. "Analisis Performa Kompor Gasifikasi Biomassa Tiper Forced *Draft* Menggunakan Jumlah Bahan Bakar Tongkol Jagung". Jtech, 5(2).

[4] Santoso, B., Aji, D., & Pratama, R. (2017). "Analisis Dinamika Fluida Pada Modifikasi Reaktor Gasifikasi Tipe Updraft". Palembang. Indonesia

[5] Jurnal Institute Teknologi Nasional. https://eprints.itenas.ac.id/1250/5/05%20Bab%202%20142016037_142016041.pdf

[6] Rinovianto, Guswendar. (2012). Karakteristik Gasifikasi Pada *Updraft Double Gas Outlet Gasifier* Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet. (Skripsi Sarjana, Universitas Indonesia). https://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20303024-S1972-Guswendar%20Rinovianto.pdf

[7] Jurnal Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. https://drive.google.com/drive/folders/1viywi2do00CGNQlbIPlZ77ehtNl-fCaG

[8] Djafar, R., Djamalu, Y., Haluti, S., & Botutihe, S. "Analisis Performa Kompor Gasifikasi Biomassa Tiper Forced *Draft* Menggunakan Jumlah Bahan Bakar Tongkol Jagung". Jtech, 5(2).