

# BAB 1

## USULAN GAGASAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

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 yang 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 dapat 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].

Biomassa memiliki prospek yang baik sebagai sumber *bioenergy* yang ramah lingkungan, karena karbon dioksida yang dihasilkan dari pembakaran biomassa pada akhirnya akan digunakan kembali oleh tanaman dalam proses fotosintesis. Menurut Kong, 2010 pembakaran biomassa menghasilkan tingkat polusi yang jauh lebih rendah dibandingkan bahan bakar batu bara. Penggunaan biomassa pada proses memasak menggunakan tungku tradisional (non gasifikasi) tidak berjalan dengan lancar karena proses pembakarannya menghasilkan banyak asap sehingga membuat keadaan sekitar tungku terlihat kotor, sedangkan pada proses pemanfaatan biomassa menggunakan tungku gasifikasi menghasilkan nyala api yang lebih bersih dikarenakan memiliki dua tahap pembakaran [2].

Tungku gasifikasi adalah salah satu teknologi pemanfaatan biomassa untuk keperluan memasak pada sektor rumah tangga. Gasifikasi biomassa merupakan suatu proses dekomposisi termal berbahan dasar organik melalui pemberian sejumlah panas dengan pasokan oksigen yang terbatas sehingga menghasilkan *synthesis gases* yang terdiri dari CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>. Gasifikasi pada dasarnya adalah proses konversi energi yang melibatkan bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas oleh proses termokimia akibat oksidasi cepat. Proses ini melibatkan oksidasi partial dan temperatur tinggi, reaksi oksidasi, serta reduksi diantara

bahan bakar padat dan udara [3]. Reaksi gasifikasi merupakan reaksi yang kompleks, secara umum melibatkan 4 area proses yaitu pembakaran (*combustion*), area reduksi (*reduction zone*), area pirolisis (*pyrolysis zone*), dan area pengeringan (*drying zone*) [4].

Ada beberapa metode untuk pengujian proses gasifikasi, salah satunya dengan menggunakan 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. Pada *capstone design* ini, 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]. Pengujian tungku gasifikasi pada *capstone design* ini dilakukan dengan dua tungku gasifikasi jenis *updraft*, yaitu tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen dan *stainless steel* (tungku konvensional). Tujuannya untuk menguji kualitas dari masing-masing tungku gasifikasi tersebut dalam hal menghasilkan panas untuk proses memasak/pendidihan air.

## 1.2 Informasi Pendukung Masalah

Di Indonesia sendiri, pemerintah tengah mengupayakan adanya terobosan pemanfaatan biomassa guna mengurangi peran batubara yang masih dominan secara nasional dan mendorong capaian target bauran EBT pada tahun 2025. Hingga akhir tahun 2019, bauran EBT mencapai 9,15% dimana 6,2% berasal dari PLT EBT dan 2,95% berasal dari BBN (biodiesel). Sementara pada tahun 2025, bauran EBT ditargetkan 23% dimana PLT EBT ditargetkan memberikan porsi bauran sebesar 13%-15%. PLT bioenergy 2%-5%, dan BBN 2%-3% [5]. Pengembangan energi baru terbarukan (EBT) saat ini mengacu kepada perpres no. 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional. Dalam perpres disebutkan kontribusi EBT dalam bauran energi primer nasional pada tahun 2025 adalah sebesar 17% dengan komposisi bahan bakar nabati sebesar 5%, panas bumi 5%, biomassa, nuklir, air, dan, angin 5% serta batubara yang dicairkan sebesar 2%. Untuk itu langkah-langkah yang akan diambil pemerintah adalah menambah kapasitas terpasang pembangkit listrik mikro hidro menjadi 2,846 MW pada tahun 2025, kapasitas PLT angin sebesar 0,97 GW pada tahun 2025, PLTS sebesar 0,87 GW pada tahun 2024, dan nuklir sebesar 4,2 GW pada tahun 2024 [6].

## 1.3 Analisis Umum

### 1.3.1 Aspek Ekonomi

Dari aspek ekonomi, pengujian tungku gasifikasi *updraft* dengan metode *water boiling test* memiliki keterjangkauan biaya karena pengujian tungku gasifikasi dengan metode WBT lebih sederhana dan murah untuk dilakukan.

### 1.3.2 Aspek Manufakturabilitas

Pada capstone design ini, pengukuran dilakukan dengan menggunakan tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen dan stainless steel (tungku konvensional). Dimana material yang digunakan dari masing-masing tungku gasifikasi sudah sesuai. Proses manufakturing dari masing-masing tungku cukup sederhana. Proses manufakturin dari kedua tungku tersebut, yaitu: (1) desain dan perencanaan, sebelum tungku gasifikasi dibuat diidentifikasi terlebih dahulu spesifikasi dari tungku gasifikasi termasuk ukuran, kapasitas serta kebutuhan teknis lainnya serta merancang desain dan perencanaan konstruksi untuk memenuhi spesifikasi tersebut. (2) pemilihan bahan, selanjutnya pemilihan bahan untuk kebutuhan konstruksi tungku gasifikasi. Pada tungku gasifikasi berbahan semen bahan yang dipilih berupa semen serta bahan lainnya seperti agregat, steel fibers dan bahan tambahan lain yang dibutuhkan untuk menciptakan campuran beton yang tahan panas. Pada tungku stainless steel bahan yang dipilih berupa stainless steel yang tahan terhadap suhu tinggi dan kondisi korosif. (3) selanjutnya pada tungku gasifikasi semen proses manufakturingnya dengan mencampur semua bahan dengan proporsi yang tepat untuk membuat beton panas kemudian bahan tersebut dibuat sesuai dengan desain yang telah dirancang sebelumnya. Sedangkan pada tungku stainless steel proses manufakturingnya dengan proses pemotongan dan pembentukan stainless steel sesuai dengan desain yang telah dibuat. (4) pada tungku gasifikasi semen proses selanjutnya dengan pengeringan. Sedangkan pada tungku stainless steel proses selanjutnya dengan pengelasan dan peyambungan bagian bagian yang telah di potong sebelumnya. (5) proses terakhir yaitu finishing dimana pada masing-masing tungku gasifikasi dilakukan pengecatan atau penambahan lapisan pelindung khusus untuk mencegah korosi dan meningkatkan daya tahan terhadap suhu tinggi.

### 1.3.3 Aspek Keberlanjutan (*sustainability*)

Penggunaan tungku gasifikasi memiliki aspek keberlanjutan atau memiliki pengaruh jangka panjang. Dengan penggunaan tungku gasifikasi dapat membantu pengelolaan sumber daya biomassa untuk keperluan pengkonversian biomassa menjadi energi yang bisa digunakan menjadi bahan bakar.

#### 1.3.4 Aspek Lingkungan

Penggunaan tungku gasifikasi dapat mengurangi limbah, dikarenakan tungku gasifikasi dapat digunakan untuk mengubah limbah padat atau limbah organik menjadi sumber energi yang dapat menjadi solusi berkelanjutan untuk manajemen limbah. Selain itu penggunaan tungku gasifikasi dengan metode *water boiling test* dapat memberikan informasi awal tentang tingkat kebersihan pembakaran dan potensi dampaknya pada kualitas udara sekitar terutama jika diuji dengan bahan bakar yang umum digunakan.

### 1.4 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Dalam capstone design ini dibutuhkan tungku gasifikasi *updraft* sebagai alat utama dalam proses konversi energi. Selain tungku gasifikasi *updraft*, kebutuhan lainnya dalam *capstone design* ini yakni pellet kayu, termometer, wadah penampung air (panci), timbangan, sarung tangan tahan panas, *timer*, sekop kecil dan alat pengukur volume air.

### 1.5 Solusi Sistem yang Diusulkan

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, tungku gasifikasi merupakan alat yang dapat digunakan untuk menghasilkan gas sintesis (*syngas*) dari bahan bakar pada yang antara lain berasal dari biomassa (sampah pada perkotaan, limbah pertanian, perkebunan, dan kehutanan) dan batu bara. Dengan pemanasan gasifier, bahan baku biomassa akan terurai menjadi gas *hydrogen*, metana, karbon monoksida, karbon dioksida, nitrogen, polutan dan abu. Pada dokumen *capstone design* ini, penulis menawarkan dua solusi sistem, yaitu tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen dan *stainless steel* (tungku konvensional).

#### 1.5.1 Karakteristik Produk

##### 1.5.1.1 Produk Tungku Gasifikasi *Updraft* Berbahan Semen



**Gambar 1.1 Gambar Teknik Tungku Gasifikasi Jenis *Updraft* Berbahan Semen**

Tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen merupakan sebuah perangkat *gasifier* yang dirancang untuk mengubah bahan bakar padat, seperti biomassa atau kayu menjadi gas bakar melalui proses gasifikasi. Tungku ini memiliki konstruksi yang menggunakan semen sebagai bahan dasar pembuatannya. Penggunaan semen dalam konstruksi bertujuan untuk meningkatkan ketahanan terhadap suhu tinggi, korosi dan abrasi yang mungkin terjadi selama proses gasifikasi. Bahan dasar semen juga dapat memberikan stabilitas dimensi yang baik, serta memastikan bahwa tungku tetap dalam bentuk dan ukuran yang diinginkan selama operasi. Kelebihan dari sistem tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen yaitu: bahan baku yang umum dan mudah tersedia karena menggunakan semen, pembuatan tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen dapat lebih ekonomis dibandingkan dengan menggunakan bahan refraktori yang lebih mahal dan menjadi isolasi termal yang baik karena semen dapat memberikan isolasi termal yang baik serta membantu menjaga suhu tinggi dalam ruang gasifikasi dan meningkatkan efisiensi. Sedangkan kekurangan dari tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen yaitu: memiliki kerentanan terhadap kerusakan termal karena bahan semen dapat menjadi rentan terhadap kerusakan termal pada suhu tinggi yang dapat membatasi umur pakai tungku, dan memiliki kerentanan terhadap korosi oleh gas hasil gasifikasi karena gas hasil gasifikasi terutama yang mengandung senyawa korosif dapat menyebabkan korosi pada

dinding refraktori pada tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen.

#### 1.5.1.2 Produk Tungku Gasifikasi *Updraft* Berbahan *Stainless Steel* (Tungku Konvensional)



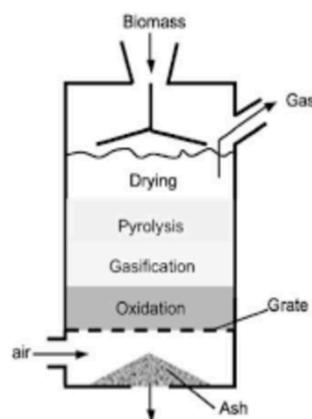
**Gambar 1.2 Tungku Gasifikasi *Updraft* Berbahan *Stainless Steel* (Tungku Konvensional)**

Tungku gasifikasi *updraft* berbahan *stainless steel* merupakan jenis tungku gasifikasi yang dirancang menggunakan *stainless steel* sebagai material utama dalam konstruksinya. *stainless steel* dipilih karena memiliki sifat-sifat tertentu yang membuatnya cocok untuk aplikasi gasifikasi, terutama dalam hal ketahanan terhadap korosi, kekuatan mekanis dan ketahanan terhadap suhu tinggi. Kelebihan tungku gasifikasi *updraft* berbahan *stainless steel* yaitu: memiliki ketahanan korosi karena *stainless steel* memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi sehingga dapat bertahan dalam lingkungan yang agresif dan suhu tinggi, memiliki umur pakai yang panjang jika pemeliharaannya yang tepat karena tungku gasifikasi berbahan *stainless steel* dapat memiliki umur yang panjang karena ketahanan terhadap korosi dan memiliki toleransi terhadap suhu tinggi karena dengan bahan *stainless steel* dapat mempertahankan integritas strukturalnya pada suhu tinggi sehingga memberikan ketahanan terhadap deformasi dan kerusakan termal. Sedangkan kekurangan dari tungku gasifikasi *updraft* berbahan *stainless steel* yaitu: biaya produksi yang lebih tinggi karena *stainless steel* cenderung lebih mahal dibandingkan dengan beberapa bahan lainnya sehingga dapat meningkatkan biaya produksi tungku gasifikasi dan memiliki waktu yang lama untuk pemanasan

## 1.5.2 Skenario Penggunaan

### 1.5.2.1 Produk Tungku Gasifikasi *Updraft Berbahan Semen*

Tungku gasifikasi *updraft* merupakan reaktor gasifikasi yang umum digunakan secara luas. Ciri khas dari reaktor gasifikasi ini adalah aliran udara dari *blower* masuk melalui bagian bawah reaktor melalui grate sedangkan aliran bahan bakar masuk dari bagian atas reaktor sehingga arah aliran udara dan bahan bakar memiliki prinsip yang berlawanan (*counter current*). Kelebihan dari reaktor gasifikasi *updraft* adalah mekanisme yang dimiliki oleh reaktor tipe ini jauh lebih sederhana dibandingkan dengan tipe yang lain, sedangkan dengan mekanisme kerja yang lebih sederhana tersebut, memiliki tingkat toleransi reaktor terhadap tingkat kekasaran bahan bakar lebih baik. Selain itu jenis reaktor 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 reaktor memiliki temperatur yang relatif rendah. Sedangkan kelemahan reaktor 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]



**Gambar 1.3** Skema Tungku Gasifikasi Jenis *Updraft* Berbahan Semen [7]

Pada gambar 1.3 diatas, produksi gas dikeluarkan melalui bagian atas dari reaktor sedangkan abu pembakaran jatuh ke bagian bawah *gasifier* karena pengaruh gaya gravitasi dan berat jenis abu. Di dalam reaktor, terjadi zonafikasi area pembakaran berdasarkan pada distribusi temperatur reaktor gasifikasi. Zona pembakaran terjadi di dekat *grate* yang dilanjutkan dengan zona reduksi yang akan menghasilkan gas dengan temperatur yang tinggi. Gas hasil reaksi tersebut akan bergerak menuju bagian atas dari reaktor yang memiliki temperatur lebih rendah dan gas tersebut akan kontak dengan bahan bakar yang bergerak turun sehingga terjadi proses pirolisis dan pertukaran panas antara gas dengan temperatur

tinggi terhadap bahan bakar yang dimiliki temperatur lebih rendah (Guswendar,2012). Panas *sensible* yang diberikan gas digunakan bahan bakar untuk pemanasan awal dan pengeringan bahan bakar. Kedua proses tersebut yaitu proses pirolisis dan proses pengeringan terjadi pada bagian teratas dari reaktor gasifikasi [7]

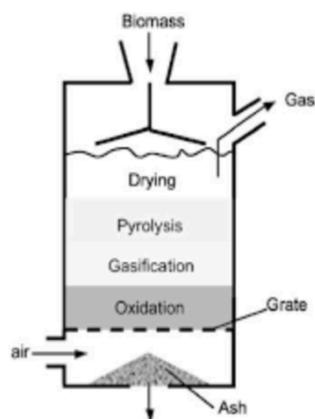
Penggunaan tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen dapat diaplikasikan dalam berbagai skenario tergantung pada kebutuhan dan kondisi spesifik. Beberapa skenario penggunaan tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen yaitu: (1) pemanas ruangan rumah tangga, tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen dapat digunakan sebagai pemanas ruangan rumah tangga. Bahan bakar pada seperti kayu atau serbuk kayu dimasukkan ke dalam tungku untuk menghasilkan gas bakar yang dapat digunakan untuk pemanasan. (2) pemanas air, tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen dapat diintegrasikan ke dalam sistem pemanas air. (3) pengelolaan limbah, tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen dapat digunakan untuk mengelola limbah organik dari berbagai sumber, termasuk limbah pertanian, limbah kayu atau sampah organik sehingga menghasilkan energi untuk mengurangi jumlah limbah/sampah.

Pada *capstone design* ini, pengujian tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen menggunakan metode *water boiling test* (WBT). *Water boiling test* (WBT) adalah metode pengujian yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja tungku dalam menghasilkan panas dengan mengukur waktu yang diperlukan untuk mendidihkan sejumlah air menggunakan panas yang dihasilkan oleh tungku. Metode ini umumnya digunakan sebagai indikator awal untuk mengukur kemampuan tungku dalam menghasilkan panas yang cukup untuk keperluan memasak atau pemanasan air.

#### 1.5.2.2 Produk Tungku Gasifikasi *Updraft* Berbahan *Stainless Steel*

sama seperti tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen, tungku gasifikasi *updraft* berbahan *stainless steel* memiliki ciri khas aliran udara dari *blower* masuk melalui bagian bawah reaktor melalui *grate* sedangkan aliran bahan bakar masuk dari bagian atas reaktor sehingga aliran bahan bakar masuk dari bagian atas reaktor sehingga arah aliran udara bahan bakar memiliki prinsip yang berlawanan (*counter current*). Kelebihan dari reaktor gasifikasi *updraft* adalah mekanisme kerja yang dimiliki oleh reaktor tipe ini jauh lebih sederhana dibandingkan dengan tipe yang lain, sedangkan dengan mekanisme kerja yang lebih sederhana tersebut, ternyata tingkat toleransi reaktor terhadap tingkat kekasaran bahan bakar lebih baik. Selain itu jenis reaktor 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 reaktor memiliki temperatur yang relatif rendah. Sedangkan kelemahan reaktor 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].



**Gambar 1.4 Skema Tungku Gasifikasi Jenis *Updraft* Berbahan *Stainless Steel* [7]**

Pada gambar 1.4 diatas, produksi gas dikeluarkan melalui bagian atas dari reaktor sedangkan abu pembakaran jatuh ke bagian bawah *gasifier* karena pengaruh gaya gravitasi dan jenis abu. Di dalam reaktor, terjadi zona area pembakaran berdasarkan pada distribusi temperatur reaktor gasifikasi, zona pembakaran terjadi di dekat *grate* yang dilanjutkan dengan zona reduksi yang akan menghasilkan gas dengan temperatur yang tinggi. Gas hasil reaksi tersebut akan bergerak menuju bagian atas dari reaktor yang memiliki temperatur lebih rendah dan gas tersebut akan kontak dengan bahan bakar yang bergerak turun sehingga terjadi proses pirolisis dan pertukaran panas antara gas dengan temperatur tinggi terhadap bahan bakar yang memiliki temperatur lebih rendah (Guswendar, 2012). Panas *sensible* yang diberikan gas digunakan bahan bakar untuk pemanasan awal dan pengeringan bahan bakar. Kedua proses tersebut dinamakan dengan proses pirolisis dan proses pengeringan. Kedua proses tersebut terjadi pada bagian teratas dari reaktor gasifikasi *updraft* berbahan *stainless steel* [7].

Penggunaan tungku gasifikasi *updraft* berbahan *stainless steel* dapat diaplikasikan dalam berbagai skenario tergantung pada kebutuhan dan kondisi spesifik. Beberapa skenario penggunaan tungku gasifikasi *updraft* berbahan *stainless steel* yaitu: (1) pengelolaan limbah organik, tungku gasifikasi *updraft* berbahan *stainless steel* dapat digunakan untuk mengolah

limbah organik seperti sampah rumah tangga menjadi gas bakar, sehingga dapat mengurangi jumlah limbah organik masuk ke tempat pembuangan akhir. (2) pemanas air, tungku gasifikasi *updraft* berbahan *stainless steel* dapat diintegrasikan ke dalam sistem pemanas air. (3) industri manufaktur, pemanfaatan tungku gasifikasi *updraft* berbahan *stainless steel* dalam industri manufaktur dapat mendukung pemanasan proses produksi, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan memberikan solusi yang lebih berkelanjutan.

Pada *capstone design* ini, sama dengan pengujian tungku gasifikasi *updraft* berbahan *stainless steel*, pengujian tungku gasifikasi *updraft* berbahan *stainless steel* juga menggunakan metode *water boiling test* (WBT). *Water boiling test* (WBT) adalah metode pengujian yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja tungku gasifikasi dengan mengukur waktu yang diperlukan untuk mendidihkan sejumlah air menggunakan panas yang dihasilkan oleh tungku. Metode ini umumnya digunakan sebagai indikator awal untuk mengukur kemampuan tungku dalam menghasilkan panas yang cukup untuk keperluan memasak atau pemanasan air.

## **1.6 Kesimpulan dan Ringkasan**

Pada *capstone design* ini, masalah yang diangkat adalah menganalisa tungku gasifikasi *updraft*. Analisa kualitas tungku gasifikasi *updraft* dilakukan dengan menggunakan metode *water boiling test* (WBT). Tujuannya untuk menguji kualitas tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen dan tungku gasifikasi *updraft* berbahan *stainless steel* dalam hal menghasilkan panas untuk proses memasak/pendidihan air, serta mengetahui jumlah efisiensi yang dihasilkan dari kedua tungku yang diuji.

## BAB 2

### DESAIN KONSEP SOLUSI

#### 2.1 Spesifikasi Produk

Pada spesifikasi produk ini menjelaskan mengenai spesifikasi dari produk sub-sistem 1 dan sub-sistem 2 yang dijelaskan dalam empat poin yakni *traceable*, non-ambigu, *verifiable*, dan abstrak.

##### 2.1.1 Produk Tungku Gasifikasi *Updraft* Berbahan Semen

Pada topik *capstone design* “Analisis *Water Boiling Test* pada Tungku Gasifikasi *Updraft*” dibutuhkan produk yaitu tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen sebagai alat utama dalam proses pengujian tungku gasifikasi. Setelah melihat tujuan dalam *capstone design* yang telah dibuat, maka akan ditentukan beberapa spesifikasinya meliputi beberapa hal yang telah ditentukan.

Yang pertama *traceable*, dalam hal ini alasan analisis tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen menggunakan metode *water boiling test* adalah untuk mengetahui kualitas tungku yang digunakan, dimana kualitas tungku sangat berpengaruh pada hasil akhir yang dihasilkan oleh tungku gasifikasi. Untuk mengetahui kualitas tungku tersebut perlu diperhatikan beberapa parameter penting yaitu, kinerja dari tungku, efisiensi yang dihasilkan, konsumsi bahan bakar yang digunakan serta keamanan dan keselamatan pada saat pengoperasian tungku gasifikasi jenis ini.

Yang kedua tidak ambigu/non-ambigu, dalam pengujian tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen menggunakan metode *water boiling test* harus diperhatikan beberapa parameter penting sehingga pengujian tersebut bisa dikatakan tidak ambigu/non-ambigu. Untuk parameter tersebut yakni, spesifikasi bahan bakar yang jelas dan detail serta prosedur pengujiannya yang jelas dan terarah. Hal tersebut sangatlah penting untuk memastikan bahwa pengujian dilakukan dengan konsisten dan bahwa hasilnya dapat diinterpretasikan dengan benar. Hal tersebut juga membantu dalam membandingkan hasil pengujian standar industri atau penelitian sebelumnya.

Yang ketiga *verifiable*, pengujian tungku gasifikasi *updraft* berbahan semen dengan menggunakan metode *water boiling test* dapat dikatakan berhasil jika tungku tersebut mampu menghasilkan panas yang cukup untuk mendidihkan sejumlah air dalam waktu yang wajar, konsistensi dan stabilitas tungku dalam menjaga suhu yang memadai selama proses