

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1.LATAR BELAKANG**

Proses produksi merupakan jantung dari suatu industri. Industri makanan, maupun industri yang lainnya, mengandalkan peralatan-peralatan yang digunakan dalam proses produksi.

Industri tahu merupakan salah satu industri makanan yang perlu dikembangkan dalam peralatan produksinya. Industri tahu yang masih menggunakan alat-alat sederhana dalam produksi masih menggunakan dandang sebagai alat produksi pada proses perebusan. Tetapi perebusan dengan menggunakan dandang ini beresiko dapat merusak kualitas dari tahu itu sendiri. Karena pada proses pengukusan atau perebusan dengan menggunakan dandang ini dapat menimbulkan aroma yang kurang sedap pada produk tahu, ini disebabkan adanya penggumpalan hasil perebusan air dibagian bawah dandang, biasanya berbentuk kerak. Kerak inilah yang menghambat proses pemanasan air sehingga menghasilkan bau yang kurang sedap atau biasa disebut sangit.

Perkembangan ilmu teknologi saat ini dapat mendukung perkembangan alat-alat produksi pada industri tahu. Salah satunya teknologi dalam bidang konversi energi yang memunculkan banyak ide-ide kreatif untuk memanfaatkannya pada dunia industri. Mesin-mesin konversi energi menjadi sumber tenaga yang akan mengoperasikan berbagai mesin produksi dalam suatu industri. Salah satu mesin konversi energi adalah *boiler* atau ketel uap. *Boiler* mampu merubah air menjadi uap air yang dapat dimanfaatkan tekanan maupun panas dari uap air tersebut. Pada skala yang besar boiler digunakan untuk instalasi tenaga atau pembangkit tenaga melalui turbin uap. Industri kecil dan menengah banyak memanfaatkan boiler untuk proses pengolahan dan pemanasan dengan memanfaatkan panas dari uap air yang dihasilkan.

Ketel uap / *boiler* banyak digunakan pada industri kecil menengah sebagai sistem peralatan proses pengolahan, seperti pengolahan cengkeh pala dan

sebagainya. Juga bisa digunakan sebagai media pemanas pada industri sederhana seperti industri tahu, industri rotan dan sebagainya. Sebagai pemanas digunakan dapur dengan bahan bakar kayu, karena kayu mudah didapat. Dari beberapa penelitian bahwa industri-industri kecil pangan masih banyak menggunakan peralatan sederhana dalam proses produksinya. Pemakaian energi panas seperti uap pada industri tersebut diatas banyak dibutuhkan. Sementara kebutuhan tersebut masih banyak menggunakan alat-alat sederhana dimana umumnya boros energi, proses relatif lama dan tidak nyaman. Ketel uap (*boiler*) sebagai penghasil uap yang dipakai untuk sumber energi merupakan suatu alur produksi dalam suatu industri pangan ataupun industri lainnya karena sangat vital fungsinya dalam proses produksi.

Dari uraian di atas penulis mencoba untuk mengadakan penelitian dengan judul PERANCANGAN *BOILER* PIPA API UNTUK PEREBUSAN BUBUR KEDELAI PADA INDUSTRI TAHU KAPASITAS UAP 160 KG/JAM.

## **1.2.TUJUAN**

1. Merancang kontruksi *boiler* jenis *Vertical fire tube boiler* yang menghasilkan uap jenuh pada temperatur 100 °C – 150 °C, untuk digunakan pada proses pemanasan sistem uap pada industri tahu.
2. Merancang kontruksi boiler yang aman sesuai dengan standart perancangan ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) ASME SECTION IV, untuk digunakan pada proses pemanasan sistem uap pada industri tahu.
3. Mengetahui desain boiler yang akan digunakan untuk pemanasan sistem uap pada industri tahu dengan menggunakan *INVENTOR*.

## **1.3.MANFAAT PENELITIAN**

- a). Dapat mengetahui bagaimana cara merancang sebuah *boiler* pipa api untuk perebusan tahu.
- b). Mengetahui dan mengenal bagian – bagian dari *boiler* pipa api.
- c). Dengan mengubah perancangan *boiler* untuk industri tahu dapat meningkatkan hasil produksi tahu.

#### **1.4. BATASAN MASALAH**

Untuk memperjelas ruang lingkup permasalahan, maka dalam penulisan Skripsi ini perlu adanya batasan – batasan masalah, antara lain :

1. *Boiler* yang akan digunakan pada perancangan boiler untuk industri tahu ini adalah jenis *boiler* pipa api.
2. Hasil penelitian disajikan dalam bentuk gambar teknik 3D.

#### **1.5 RUMUSAN MASALAH**

Mengacu pada latar belakang permasalahan yang ada, maka perumusan masalah ditekankan pada :

1. Bagaimana perancangan konstruksi *boiler* jenis *vertical fire tube boiler* yang menghasilkan uap jenuh pada temperatur  $100^{\circ}\text{C}$  -  $150^{\circ}\text{C}$ , untuk digunakan pada proses pemanasan sistem uap pada industri tahu ?
2. Bagaimanakah perancangan konstruksi *boiler* yang aman sesuai dengan standar perancangan ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) untuk digunakan pada proses pemanasan sistem uap pada industri tahu ?

#### **1.6 SISTEMATIKA PENULISAN**

Rencana sistematika penulisan skripsi adalah:

##### **Bab I Pendahuluan**

Menguraikan tentang latar belakang masalah, batasan masalah, tujuan penelitian dan sistematika penulisan.

##### **Bab II Tinjauan Pustaka**

Menguraikan tentang teori dasar yang digunakan untuk mendukung pemahaman yang berhubungan dengan analisa kebutuhan uap dan perancangan boiler pipa api untuk perebusan bubur kedelai pada industri tahu kapasitas uap jenuh 160 kg/jam.

##### **Bab III Metodologi Penelitian**

Menguraikan tentang tahapan-tahapan analisa dan perancangan boiler pipa api untuk perebusan bubur kedelai pada industri tahu kapasitas uap jenuh 160 kg/jam.

#### **Bab IV Hasil dan Pembahasan**

Menguraikan tentang hasil perhitungan perancangan boiler pipa api untuk perebusan bubur kedelai pada industri tahu kapasitas uap jenuh 160 kg/jam.

#### **Bab V Penutup**

Menguraikan tentang kesimpulan dan saran dari hasil perhitungan dan perancangan boiler pipa api untuk perebusan bubur kedelai industri tahu kapasitas uap jenuh 160 kg/jam

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Landasan Teori

#### 2.1.1. Boiler

*Boiler* merupakan mesin kalor (*thermal engineering*) yang mentransfer energi-energi kimia atau energi otomis menjadi kerja / usaha (Muin : 28).

*Boiler* atau ketel uap adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan *steam*. *Steam* diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar, (Yohana dan Askhabul 2009 : 13). *Boiler* mengubah energi-energi kimia menjadi bentuk energi yang lain untuk menghasilkan kerja. *Boiler* dirancang untuk melakukan atau memindahkan kalor dari suatu sumber pembakaran, yang biasanya berupa pembakaran bahan bakar.

*Boiler* berfungsi sebagai pesawat konversi energi yang mengkonfersikan energi kimia (potensial) dari bahan bakar menjadi energi panas. *Boiler* terdiri dari 2 komponen utama, yaitu :

1. Dapur sebagai alat untuk mengubah energi kimia menjadi energi panas.
2. Alat penguap (*evaporator*) yang mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial uap (energi panas).

*Boiler* pada dasarnya terdiri dari bumbungan (drum) yang tertutup pada ujung pangkalnya, dan dalam perkembangannya dilengkapi dalam pipa api maupun pipa air. Banyak orang mengklasifikasikan ketel uap tergantung kepada sudut pandang masing-masing (Muin 1988 : 8). *Boiler* diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Berdasarkan fluida yang mengalir dalam pipa, maka *boiler* diklasifikasikan menjadi:

- a. *Boiler* pipa api (*fire tube boiler*)

*Boiler* jenis ini pada bagian pipanya dialiri dengan gas pembakaran dan bagian lainnya yaitu *sell* dialiri air yang akan diuapkan. Pipa-pipanya langsung didinginkan oleh air yang melindunginya. Jumlah pass dari *boiler* tergantung dari jumlah laluan horizontal dari gas

pembakaran diantara *furnance* dan pipa-pipa api. Lualan gas pembakaran pada *furnance* dihitung sebagai pass pertama. *Boiler* jenis ini banyak dipakai untuk industri pengolahan mulai skala kecil sampai skala menengah (Raharjo dan Karnowo2008 : 180).

b. *Boiler* pipa air (*water tube boiler*)

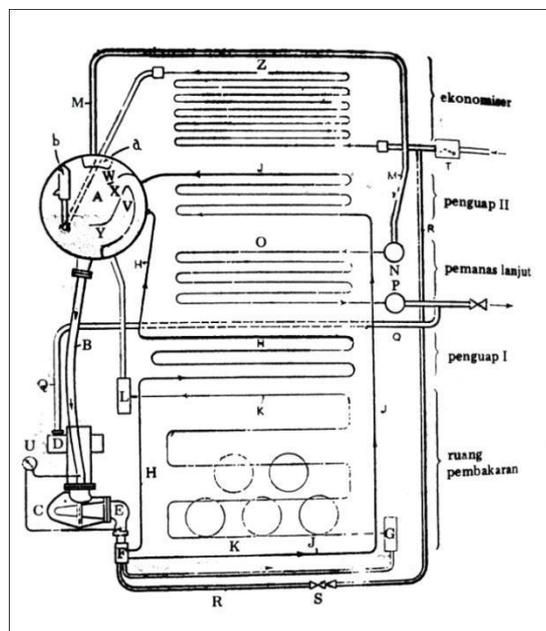
*Boiler* jenis ini banyak dipakai untuk kebutuhan uap skala besar. Prinsip kerja dari *boiler* pipa air berkebalikan dengan pipa api, gas pembakaran dari *furnace* dilewatkan ke pipa-pipa yang berisi air yang akan diuapkan (Raharjo dan Karnowo 2008 : 180)

2. Berdasarkan pemakaiannya, *boiler* dapat diklasifikasikan menjadi :
  - a. *Boiler* stasioner (*stasioner boiler*) atau *boiler* tetap :

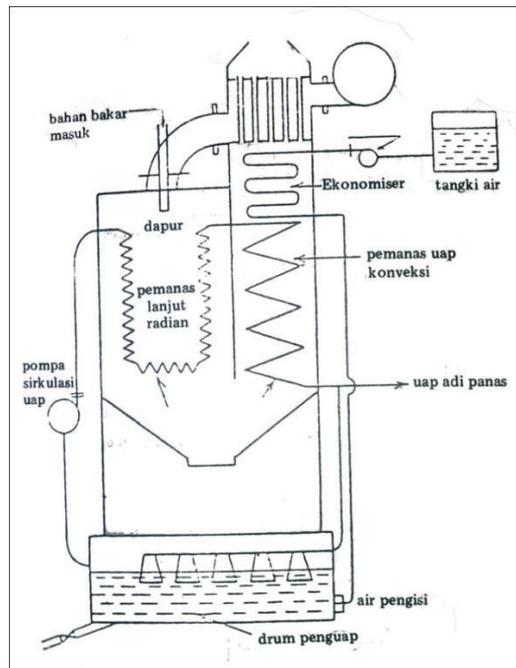
*Boiler* stasioner ialah *boiler* yang didudukkan diatas fundasi yang tetap, seperti *boiler* untuk pembangkit tenaga, untuk industri dan lain-lain.
  - b. *Boiler* mobil (*mobile boiler*), boiler pindah atau *portable boiler*.

*Boiler* mobil ialah *boiler* yang dipasang pada fundasi yang berpindah-pindah (*mobile*), seperti *boiler* lokomotif, lokomobil dan *boiler* panjang serta lain yang sepertinya termasuk *boiler* kapal (*marine boiler*).
3. Berdasarkan letak dapur (*furnace position*), *boiler* diklasifikasikan menjadi :
  - a. *Boiler* dengan pembakaran di dalam (*internally fired steam boiler*)
  - b. *Boiler* dengan pembakaran di luar (*outernally fired steam boiler*)
4. Menurut jumlah lorong (*boiler tube*), *boiler* diklasifikasikan menjadi :
  - a. *Boiler* dengan lorong tunggal (*single tube steam boiler*)
  - b. *Boiler* dengan lorong ganda (*multitubuler steam boiler*)
5. menurut poros tutup drum (*shell*), boiler diklasifikasikan menjadi :
  - a. *boiler* tegak (*vertical steam boiler*)
  - b. *boiler* mendatar ( *horizontal steam boiler*)
6. menurut bentuk dan letak pipa, *boiler* diklasifikasikan menjadi:

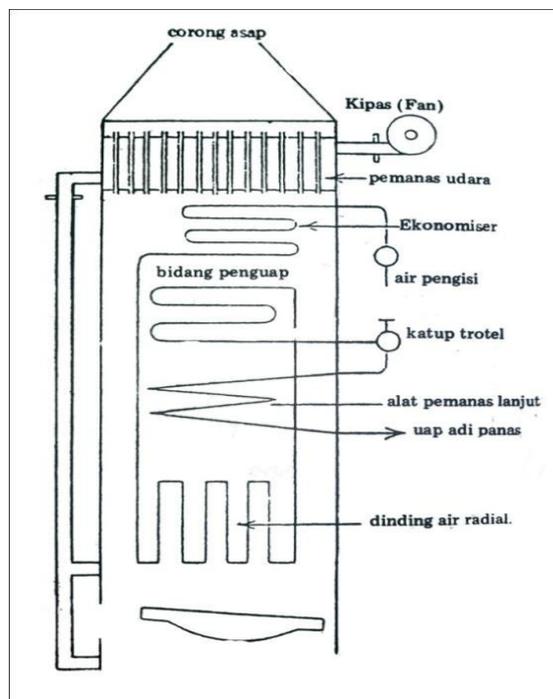
- a. boiler dengan pipa lurus, bengkok dan berlekuk (*straight, bent and sinuous tubuler heating surface*)
  - b. boiler dengan pipa miring-datar dan miring-tegak (*horizontal, inclined or vertical tubuler heating surface*)
7. menurut sistem peredaran air boiler (*water circulation*), ketel uap diklasifikasikan sebagai :
- a. boiler dengan peredaran alam (*natural circulation steam boiler*)  
pada *natural circulation boiler*, peredaran air dalam boiler terjadi secara alami, yaitu air yang ringan naik sedang air yang berat turun, sehingga terjadilah aliran konveksi alami.
  - b. Boiler dengan peredaran paksa (*forced circulation steam boiler*)  
Pada ketel dengan aliran paksa (*forced circulation steam boiler*), aliran paksa diperoleh dari sebuah pompa centrifugal yang digerakkan dengan electric motor.



Gambar 2.1. *La Mont Boiler* ( Muin 1988 : 140 )



Gambar 2.2. *Loeffler Boiler* (Muin 1988: 141)



Gambar 2.3. *Benson Boiler* (Muin 1988: 142)

8. *Boiler* menurut sumber panasnya (*heat source*) untuk pembuatan uap, *boiler* dapat diklasifikasikan sebagai :

- a. *Boiler* dengan bahan bakar alami
- b. *Boiler* dengan bahan bakar buatan
- c. *Boiler* dengan dapur listrik
- d. *Boiler* dengan energi nuklir

Dalam perancangan *boiler* ada beberapa faktor penting yang harus dipertimbangkan agar *boiler* yang direncanakan dapat bekerja dengan baik sesuai dengan kebutuhan. Faktor yang mendasari pemilihan jenis *boiler* adalah sebagai berikut :

- a. Kapasitas yang digunakan
- b. Kondisi uap yang dibutuhkan
- c. Bahan bakar yang dibutuhkan
- d. Konstruksi yang sederhana

### **2.1.2. Uap / steam**

Uap air adalah sejenis fluida yang merupakan fase gas dari air, bila mengalami pemanasan sampai temperatur didih dibawah tekanan tertentu. Uap air tidak berwarna, bahkan tidak terlihat bila dalam keadaan murni kering. Uap air dipakai pertama sekali sebagai fluida kerja adalah oleh *James Watt* yang terkenal sebagai penemu Mesin Uap Torak.

Uap air tidak mengikuti hukum-hukum gas sempurna, sampai dia benar-benar kering (kadar uap 100%). Bila uap air kering dipanaskan lebih lanjut maka dia menjadi uap air panas (panas lanjut) dan selanjutnya dapat dianggap sebagai gas sempurna.

Uap air terbentuk dalam 3 jenis, yaitu :

1. Uap saturasi basah
  2. Uap saturasi kering
  3. Uap air panas
1. *Uap basah dan uap kering*

Uap basah adalah uap yang mengandung air.

Bila 1 kg uap basah terdiri dari :

- $M_s$  kg/kg uap kering, dan

- $M_w$  kg/kg, maka dikatakan bahwa kadar uap tersebut :

$$X = \frac{m_s}{m_s + m_w} \quad (2.1)$$

Untuk uap saturasi basah :

$$X < 1 \quad (2.2)$$

2. *Sedangkan untuk uap saturasi kering*

$$X = 1 \quad (2.3)$$

Enthalpy uap saturasi :

$$H_{sat} = H_w + XL \text{ kkal/kg} \quad (2.4)$$

$H_{sat}$  = enthalpy uap saturasi, kkal/kg

$H_a$  = enthalpy air pada suhu saturasi, kkal/kg

$X$  = kadar uap

$L$  = panas laten, kkal/kg

Untuk uap saturasi kering ( $X=1$ ), kkal/kg maka :

$$H_{sat} = H_a + L \quad (2.5)$$

3. *Enthalpy uap adi panas*

$$H_{sup} = H_{sat} + C_p (t_{sup} - t_{sat}) \text{ kkal/kg} \quad (2.6)$$

$H_{sup}$  = enthalpy uap adi panas, kkal/kg °C

$C_p$  = panas jenis uap rata-rata, kkal/kg °C

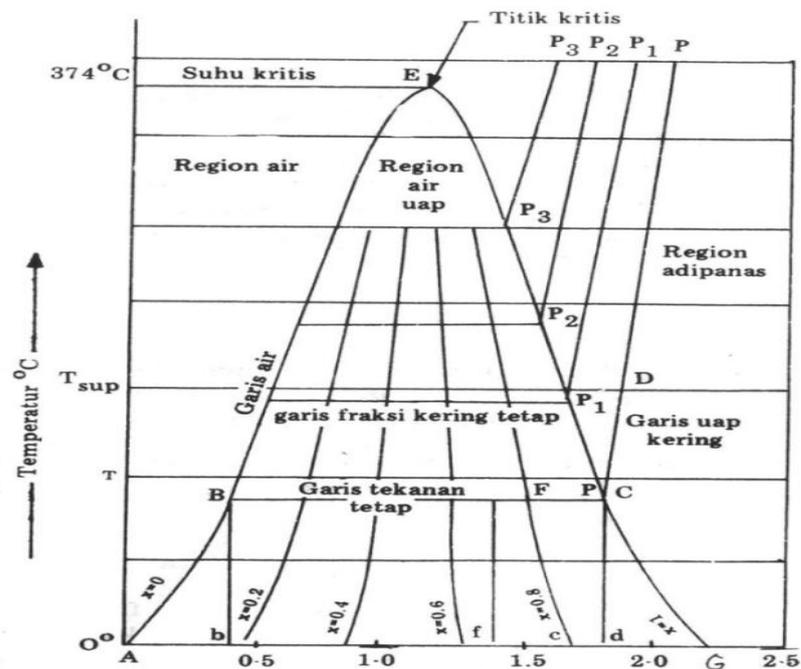
$t_{sup}$  = temperatur uap adi panas, °C

$t_{sat}$  = temperatur uap saturasi, °C

Sebagaimana kita ketahui bahwa pada pemanasan air dan penguapan berlangsung pada tekanan tetap. Begitu pula pada pemanasan lanjut uap berlangsung pada tekanan tetap. Entropi uap pada tekanan tetap, terdiri dari :

1. Kenaikan entropi air selama pemanasannya dari titik lebur sampai ketitik didih di bawah tekanan tertentu
2. Kenaikan entropi selama peristiwa penguapan
3. Kenaikan entropi selama pemanasan lanjut

Diagram entropi-temperatur (diagram T-S) sangat berguna untuk menyelesaikan soal-soal ekspansi secara adiabatik. Atas dari diagram menunjukkan entropi dari fluida (air atau uap), di atas titik air, sedang ordinatnya menyatakan temperatur fluida. Dalam gambar grafik ABCD menggambarkan pemanasan 1 kg air dari titik cair ( $0^{\circ}\text{C}$ ) sampai suhu adi panas ( $t_{sup}^{\circ}\text{C}$ ) pada tekanan tetap (constant). Grafik AB menggambarkan pemanasan air sampai temperatur saturasi ( $t_{sat}^{\circ}\text{C}$ ). Kenaikan entropi :  $S_w$  kkal/kg $^{\circ}\text{C}$  diukur sepanjang garis AB.



Gambar 2.4. Grafik Temperatur-Entropi untuk air dan uap (Muin 1988: 123)

### Siklus Rankine

Siklus Rankine adalah siklus termodinamika yang mengubah panas menjadi kerja. Panas disuplai secara eksternal pada aliran tertutup, yang biasanya menggunakan air sebagai fluida yang bergerak.

Siklus Rankine kadang-kadang diaplikasikan sebagai siklus Carnot, terutama dalam menghitung efisiensi. Perbedaannya hanyalah siklus ini menggunakan fluida yang bertekanan, bukan gas. Efisiensi siklus Rankine biasanya dibatasi oleh fluidanya. Fluida pada Siklus Rankine mengikuti aliran

tertutup dan digunakan secara konstan. Berbagai jenis fluida dapat digunakan pada siklus ini, namun air dipilih karena berbagai karakteristik fisika dan kimia, seperti tidak beracun, terdapat dalam jumlah besar, dan murah.

### **2.1.3. Pemanasan Sistem Uap Pada Produksi Tahu**

Tahu merupakan salah satu makanan tradisional yang populer. Bahan makanan ini diolah dari kacang kedelai. Pada proses pembuatan tahu ini bahan bakunya yaitu kacang kedelai, air, garam, dan bumbu yang lainnya.

Proses pembuatan tahu umumnya terdiri dari beberapa tahap yaitu :

1. Perendaman
2. Pencucian kedelai
3. Penggilingan
4. Perebusan/pemasakan
5. Penyaringan
6. Pengendapan dan penambahan bumbu
7. Pencetakan dan pengepresan

Proses perebusan bubur kedelai pada industri tahu umumnya masih dilakukan dengan alat konvensional. Proses perebusan dilakukan yaitu dengan menggunakan dandang yang dipanaskan di atas api dengan bahan bakar kayu. Proses perebusan kedelai juga dapat dilakukan dengan menggunakan pemanasan sistem uap. Proses perebusan ini dilakukan di sebuah bak berbentuk bundar yang dibuat dari semen atau dari logam yang dibagian bawahnya terdapat pemanas uap. Uap panas berasal dari ketel uap atau *boiler* yang dialirkan melalui pipa besi. Bahan bakar yang digunakan sebagai sumber panas adalah kayu bakar. Tujuan perebusan adalah untuk mendenaturasi protein dari kedelai sehingga protein mudah terkoagulasi saat penambahan bumbu. Titik akhir perebusan ditandai dengan timbulnya gelembung-gelembung panas dan mengentalnya larutan/bubur kedelai.

## 2.2. Instrumen *Boiler* Penunjang Perancangan

### 2.2.1. *Pressure Gauge*

*Pressure Gauge* berfungsi sebagai alat untuk menunjukkan besarnya tekanan uap di dalam *boiler*. Pada pemasangan manometer ini digunakan pipa angsa (*symphon pipe*) untuk menghindari kesalahan pengukuran karena tekanan dan temperatur tinggi langsung dihubungkan dengan manometer.



Gambar 2.5. Manometer / *pressure gauge*

### 2.2.2. Thermometer

Thermometer berfungsi untuk mengukur temperatur yang beroperasi di dalam *boiler*. Thermometer yang digunakan harus melebihi temperatur maksimal yang digunakan, yaitu harus lebih dari 150<sup>0</sup>C.



Gambar 2.6. *Thermometer*

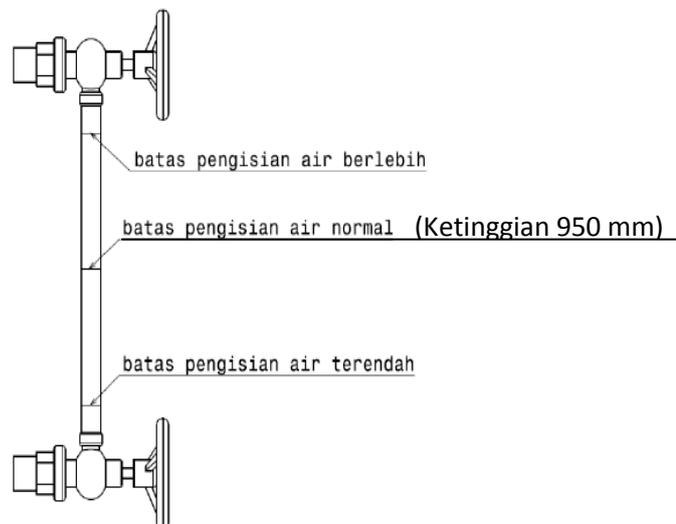
### 2.2.3. *Water Level Gauge*

Pada pengoperasian *boiler* sebagai peralatan utamanya harus ada alat pengukur ketinggian air (*water level gauge*). Level air harus dijaga agar tetap berada pada standar level air, untuk itu harus dapat mengetahui tentang level air

secara benar. Jenis *water level gauge* yang dapat digunakan yaitu *reflex glass* dengan mengetahui level air dari tabung kaca.



Gambar2.7. *water level gauge*



Gambar2.8. Indikator Pengisian air

#### 2.2.4. *safety valve*

*Safety valve* berfungsi sebagai pengaman yang akan bekerja bila terdapat tekanan lebih pada ketel uap atau tekanan pada ketel uap melebihi batas tekanan yang diijinkan.



Gambar2.9. *safety valve*

#### **2.2.5. Main Steam Valve**

Katub ini berfungsi sebagai pembuka dan penutup jalur utama *steam* yang akan digunakan untuk proses produksi tahu.



Gambar2.10. *Main Steam Valve*

#### **2.2.6. Blowdown Valve**

Berfungsi untuk membuang air maupun kotoran yang ada di dalam *boiler*. Air dalam *boiler* akan menjadi kondensat dan di dalamnya juga terdapat padatan-padatan dan dapat menjadi kerak. *Blowdown valve* ini juga digunakan untuk memasukkan air pengisian.



Gambar2.11. *Blowdown valve*

### 2.3. Teori Kekuatan Material

Dalam merancang suatu struktur, ditetapkan prosedur pemilihan suatu material yang sesuai dengan kondisi aplikasinya. Kekuatan bahan bukan kriteria satu-satunya yang harus dipertimbangkan dalam perancangan struktur. Berlawanan dengan mekanika, kekuatan bahan berkaitan dengan hubungan antara gaya luar yang bekerja dan pengaruhnya terhadap gaya dalam benda (Singer dan Pytel 1955: 1). Kekakuan suatu bahan sama dengan pentingnya dengan derajat lebih kecil, sifat seperti kekerasan, ketangguhan merupakan penetapan pemilihan bahan.

Beberapa sifat bahan yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan suatu material :

- a. Keuletan adalah sifat suatu bahan yang memungkinkan menyerap energi pada tegangan yang tinggi tanpa patah, yang biasanya diatas batas elastis.
- b. Elastisitas adalah sifat kemampuan bahan untuk kembali keukuran dan bentuk asalnya setelah gaya luar dilepas. Sifat ini penting pada semua struktur yang mengalami beban yang berubah-ubah.
- c. Kekakuan adalah sifat yang didasarkan pada sejauh mana bahan mampu menahan perubahan bentuk. Ukuran kekakuan suatu bahan adalah modulus elastisitasnya, yang diperoleh dengan membagi tegangan satuan dengan perubahan bentuk satuan-satuan yang disebabkan oleh tegangan tersebut.

- d. Kemamputempaan adalah sifat suatu bahan yang bentuknya bisa diubah dengan memberikan tegangan-tegangan tekan tanpa kerusakan.
- e. Kekuatan merupakan kemampuan bahan untuk menahan tegangan tanpa kerusakan bebrapa bahan seperti baja struktur, besi tempa, alumunium, dan tembaga, mempunyai kekuatan tarik dan tekan yang hampir sama, sementara kekuatan gesernya adalah kira-kira dua pertiga kekuatan tariknya.

### 2.3.1. Faktor Keamanan

Kekuatan sebenarnya dari suatu struktur haruslah melebihi kekuatan yang dibutuhkan. Perbandingan dari kekuatan sebenarnya terhadap kekuatan yang dibutuhkan disebut faktor keamanan (*factor of safety*).

$$\text{Faktor keamanan } (n) = \frac{\text{kekuatan sebenarnya}}{\text{kekuatan yang dibutuhkan}} \quad (2.7)$$

Mengikut sertakan faktor keamanan kedalam desain bukanlah suatu hal yang sederhana, karena baik kekuatan dan keruntuhan memiliki berbagai macam arti. Keruntuhan dapat berarti patah atau runtuhnya sama sekali suatu struktur. Penentuan suatu faktor keamanan harus memperhitungkan kemungkinan pembebanan yang melampaui batas (*overloading*) dari struktur, jenis-jenis pembebanan (statik, dinamik atau berulang), kemungkinan keruntuhan lelah (*fatigue failure*) dan lain-lain.

Apabila faktor keamanan sangat rendah, maka kemungkinan kegagalan akan menjadi tinggi dan karena itu disain strukturnya tidak diterima. Sebaliknya bila faktor keamanan sangat besar, maka strukturnya akan menerobos bahan dan mungkin tidak cocok bagi fungsinya (misalnya menjadi sangat berat).

### 2.4. Hubungan Tegangan Dan Regangan

Pada dasarnya tegangan dapat didefenisikan sebagai besaran gaya yang bekerja pada suatu satuan luas. Pada suatu bidang yang dikenal suatu gaya akan

terdapat dua jenis tegangan yang mempengaruhi bidang yaitu tegangan normal dan tegangan geser.

a. Tegangan Normal

Adalah tegangan yang tegak lurus terhadap permukaan benda yang ditimbulkan oleh gaya aksial dan momen lentur

b. Tegangan Geser

Adalah tegangan yang sejajar terhadap permukaan benda yang ditimbulkan oleh gaya geser, gaya puntir dan torsi.

Pada persoalan tegangan-deformasi, aksi atau penyebab adalah gaya, dan akibat atau tanggapan yang terjadi adalah regangan, perubahan bentuk (deformasi) dan tegangan. Parameter dasar adalah regangan atau laju perubahan deformasi. Mata rantai yang menghubungkan aksi dan tanggapan adalah hukum tegangan-regangan atau hukum dasar bahan (material) (desai 1996:40). Menentukan hubungan antara tegangan dengan regangan untuk menurunkan persamaan-persamaan elemen. Dengan demikian, untuk langkah ini dapat ditinjau hubungan tersebut.

Pada hubungan tegangan-regangan, untuk penyederhanaan mengasumsikan matriks elemen adalah elastis linear. Asumsi ini memungkinkan Hukum Hooke yang terkenal,

$$\sigma_y = E_y \epsilon_y \quad (2.8)$$

$\sigma_y$  = tegangan dalam arah vertikal

$E_y$  = Modulus elastisitas *Young*

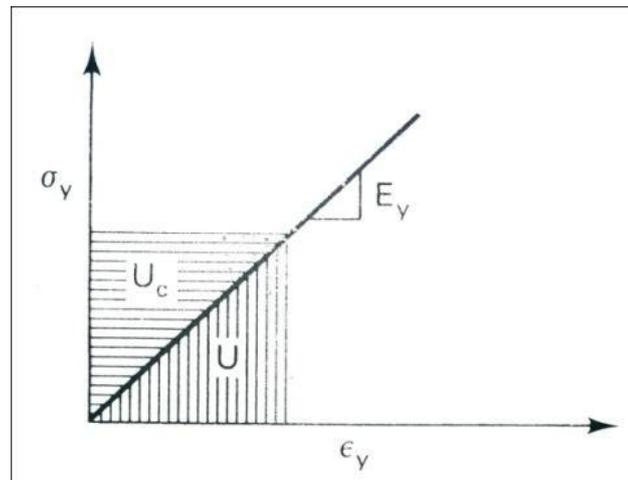
$\epsilon_y$  = regangan

Atau dalam notasi matriks,

$$\{\sigma_y\} = [C]\{\epsilon_y\} \quad (2.9)$$

$$(1 \times 1)(1 \times 1)(1 \times 1)$$

dengan [C] adalah matriks tegangan-regangan. Di sini untuk kasus satu dimensi matriks-matriks dalam persamaan diatas hanya terdiri dari satu suku skalar.



Gambar 2.12. Hukum dasar elastik linear Tegangan-Regangan (Desai 1996: 41)

Jika seseorang ingin merancang sebuah mesin, maka yang harus diperhatikan adalah mengetahui bagaimana keadaan material pada waktu sebuah komponen mesin bekerja. Untuk mengetahui hal tersebut, karakteristik tertentu atau properti dari material yang hendak diaplikasikan haruslah diketahui terlebih dahulu. Biasanya untuk mengetahui karakteristik material dapat diketahui dengan melakukan uji tarik (*Tensile Test*).

Uji tarik ini adalah suatu test secara terus-menerus menambahkan beban pada suatu material yang akan diteliti dan mencatat berapa besar beban dan regangan yang terjadi pada material sampai material tersebut patah. Tegangan yang terjadi dihitung dengan membagi besar beban yang terjadi dengan *cross-sectional area* (luas penampang) dari material yang hendak di test. Besarnya regangan dapat diketahui dengan membagi perubahan panjang yang terjadi akibat penambahan beban dengan panjang mula-mula material.

## 2.5. Teori Von Mises

Von Mises menyatakan bahwa akan terjadi luluh bilamana tegangan normal itu tidak tergantung dari orientasi atau sudut  $\theta$  (invarian) kedua deviator tegangan  $J_2$  melampaui harga kritis tertentu.

$$J_2 = k^2 \quad (2.10)$$

Dimana :

$$j_2 = \frac{1}{6} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \quad (2.11)$$

Untuk mengevaluasi tetapan  $k$  dan menghubungkannya dengan luluh dalam uji tarik uniaksial terjadi bila  $\sigma_1 = \sigma_0, \sigma_2 = \sigma_3 = 0$

$$\sigma_0^2 + \sigma_0^2 = 6k^2 \quad (2.12)$$

$$\sigma_0 = \sqrt{3}k \quad (2.13)$$

Substitusi persamaan-persamaan diatas menghasilkan bentuk kriteria luluh Von Mises.

$$\sigma_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{1/2} \quad (2.14)$$

Dari persamaan ini dapat diduga bahwa luluh akan terjadi bilamana selisih tegangan pada sisi kanan persamaan melampaui tegangan luluh dalam uji tarik uniaksial  $\sigma_0$ . Untuk mengidentifikasi tetapan  $k$  dalam persamaan diatas, perhatikan keadaan tegangan dalam geser murni, seperti dalam uji puntir.

Pada luluh :

$$\sigma_1 = -\sigma_3 = \tau \quad \sigma_2 = 0 \quad (2.15)$$

$$\sigma_1^2 + \sigma_1^2 + 4\sigma_1^2 = 6k^2 \quad \sigma_1 = k \quad (2.16)$$

Sehingga  $k$  menggambarkan tegangan luluh dalam keadaan geser murni (puntir). Karena itu, kriteria Von Mises meramalkan bahwa tegangan luluh pada puntiran akan lebih kecil dari pada dalam penegangan uniaksial, sesuai dengan :

$$k = \frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_0 = 0,577 \sigma_0 \quad (2.17)$$

Kriteria luluh Von Mises mengisyaratkan bahwa luluh tidak tergantung pada tegangan normal atau tegangan geser tertentu, melainkan tergantung dari fungsi ketiga harga tegangan geser utama. Karena kriteria luluh didasarkan atas selisih tegangan normal,  $\sigma_1 - \sigma_2$ , dan sebagainya, maka kriteria tersebut tidak tergantung pada komponen tegangan hidrostatis. Karena kriteria luluh Von Mises melibatkan suku pangkat dua, hasilnya tidak tergantung dari tanda tegangan individual.

Semula Von Mises mengusulkan kriteria ini karena matematikanya sederhana. Setelah itu, ahli lainnya berusaha untuk memberikan arti fisik. Hencky menunjukkan bahwa persamaan luluh Von Mises setara dengan perumpamaan bahwa luluh itu terjadi bilamana energi distorsi mencapai suatu harga kritis. Energi distorsi ialah bagian energi regangan total per-volume satuan yang diperlukan untuk perubahan bentuk yang berlainan dengan energi perubahan volume.

## **2.6. Metode Elemen Hingga**

### **2.6.1. Konsep Dasar**

Konsep dasar yang melandasi metode elemen hingga (EH) bukan merupakan hal yang baru, yaitu: prinsip *diskritisasi* yang sebenarnya sudah dipergunakan dalam banyak usaha manusia. Mungkin kebutuhan terhadap pendiskritan, atau membagi suatu benda menjadi benda-benda yang berukuran lebih kecil supaya lebih mudah pengelolaannya, timbul dari keterbatasan manusia yang mendasar, yaitu mereka tidak dapat melihat atau memahami benda-benda sekelilingnya di alam semesta dalam bentuk keseluruhan atau totalitas. Bahkan kita harus menengok beberapa kali untuk mendapatkan suatu gambaran mental yang digabungkan dari benda-benda di sekitar kita. Dengan kata lain, kita mendiskritkan ruang di sekeliling kita ke dalam segmen-segmen kecil, dan hasil rakitan akhir yang kita visualisasikan adalah suatu tiruan dari lingkungan *continuu* yang nyata. Umumnya pandangan yang digabungkan seperti ini mempunyai elemen kesalahan.

Meskipun dapat dilakukan perhitungan-perhitungan manual. Namun hampir semua persoalan yang dipecahkan dengan memakai metode elemen-hingga menyangkut matriks-matriks berukuran besar, dan harus memakai perhitungan secara elektronik. Dengan perkembangan teknologi, metode elemen hingga dapat dikombinasikan dengan ilmu komputer. Dan pada aplikasinya berupa perangkat lunak atau *software* yang dapat digunakan untuk mengetahui bagian-bagian kecil pada suatu objek. Tujuan utama analisis dengan metode elemen hingga adalah untuk memperoleh nilai pendekatan (bukan eksak) tegangan dan peralihan yang terjadi pada suatu struktur (Weaver dan Johnston 1993:1). Aplikasi elemen-hingga digunakan secara praktis dalam bidang industri khususnya dalam bidang perancangan.

## **2.7. Desain Gambar Menggunakan Autodesk Inventor**

Autodesk Inventor Adalah salah satu produk dari Autodesk Corp yang diperuntukkan untuk engineering design *and* drawing. Autodesk Inventor merupakan produk dari CAD setelah AutoCAD dan Autodesk Mechanical Desktop. Autodesk Inventor memiliki beberapa kelebihan yang memudahkan drafter dalam design, serta tampilan yang lebih menarik dan real, karena material yang disediakan semirip material aslinya.

Beberapa keunggulan dari Autodesk Inventor adalah :

1. Memeiliki kemampuan *Parametric solid modeling*, yaitu kemampuan untuk melakukan design serta pengeditan dalam bentuk solid model dengan data yang telah tersimpan dalam database. Dengan adanya kemampuan tersebut drafter/engineer dapat merevisi atau memodifikasi design yang ada tanpa harus mendesign ulang sebagian atau seluruhnya.
2. Memiliki kemampuan *Animation*, yaitu kemampuan untuk menganimasikan suatu file assembly mengenai jalannya suatu alat yang telah di assembly dan dapat di simpan dalam file AVI.
3. Memiliki kemampuan *Automatic create tehcnical 2D drawing* serta *bill of material* dan tampilan *Shading* dan *rendering pada layout*.

4. *Adaptive* yaitu kemampuan untuk menganalisa gesekan dari animasi suatu alat serta dapat menyesuaikan dengan sendirinya.
5. Material atau bahan yang memberikan tampilan suatu *part* nampak lebih nyata.
6. Kapasitas file lebih kecil.

Dari beberapa kelebihan tersebut maka pengguna Autodesk Inventor diberi banyak keuntungan dari segi efisiensi serta efektivitas waktu untuk produktivitas pekerjaan yang akan dilakukan. Untuk itulah dalam desain Perancangan Boiler Untuk Industri Tahu Kapasitas Uap Jenuh 160 kg/jam penulis menggunakan program inventor sebagai media gambarnya.

## **2.8. Perhitungan Boiler**

Perancangan *boiler*, pertama menentukan tekanan-tekanan yang bekerja pada struktur *boiler*. Untuk menentukan ketebalan pada struktur *boiler* harus mengetahui spesifikasi material yang akan digunakan. Struktur *boiler* yang akan dihitung yaitu tebal badan *boiler*, pipa api, *Flat heads (heating plate)*, *tubesheet*, *ligament* dan nosel-nosel pipa.

### **2.8.1. Badan Boiler**

Jenis *boiler* yang dipilih adalah jenis *boiler* pipa api (*fire tube*). *Boiler* pipa api (*fire tube boiler*) bekerja dengan pipa-pipa api yang berada di dalam silinder tabung. Pemanasan dihasilkan dari pembakaran kayu di ruang bakar dan menyalurkan panas melalui pipa api. Air berada disekitar permukaan pipa api selanjutnya temperatur air naik dan menghasilkan uap air yang disalurkan ke tempat perebusan.

*Boiler* yang akan dirancang merupakan *boiler* dengan kapasitas kecil, sehingga material-material dalam merencanakan *boiler* ini disesuaikan dengan kebutuhan. Badan *boiler* bekerja dengan mendapatkan tekanan dari dalam (*Parts under Internal Pressure*), perhitungan dengan rumus :

$$t = \frac{PR}{SE-0.6P} \quad (2.18)$$

$$p = \frac{SEt}{R+0.6t} \quad (2.19)$$

(ASME Section IV 2004:3)

P = Tekanan perancangan (*design pressure*) tidak kurang dari 30 psi (200kPa)

S = Kekuatan stress maksimum material (*maximum allowable stress*)(psi)

t = Tebal dinding silinder yang dibutuhkan (inchi)

R = Radius dalam silinder

E = Efisiensi sambungan pada silinder (*efficiency*) (E=1)

### 2.8.2. Pipa Api

Pipa api merupakan bagian alat penguapan (*evaporator*) yang mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial uap, yaitu panas dari api memanaskan air dan menjadi uap air. Pipa api bekerja dengan mendapatkan gaya tekan dari luar (*parts under eksternal pressure*), sesuai dengan rumus perhitungan berikut ini :

$$t = \frac{PR}{SE-0.6P} + 0.4 \quad (2.20)$$

(ASME Section IV 2008:5)

P = Tekanan perancangan (*design pressure*) tidak kurang dari 30 psi (200kPa)

S = Kekuatan stres maksimum material (*maximum allowable stress*) (Psi)

t = Tebal pipa api (inchi)

R = Radius dalam silinder

E = Efisiensi sambungan pada silinder (*efficiency*) (E=1)

Untuk mendapatkan ketebalan pipa api dengan menggunakan prosedur pencarian pada ASME Section IV, Menentukan:

$$\frac{L}{D^0} \text{ dan } \frac{D^0}{t} \quad (2.21)$$

Kemudian untuk mencari nilai P, dengan syarat  $P > P_1$

$$P = \frac{B}{D_o/t} \quad (2.22)$$

### 2.8.3. Tubesheet

Pipa api pada *boiler firetube* digunakan dengan pemasangan yang tetap. *Tubesheet* adalah tempat untuk menopang pipa-pipa api pada *boiler*. Ketebalan yang dibutuhkan, maksimal jarak antara pipa api, dan tekanan perancangan untuk *tubesheet* dengan pipa api yang digunakan dengan pemasangan tetap dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$t = \sqrt{\left(\frac{P}{CS}\right) + \left(P^2 - \frac{\pi D^2}{4}\right)} \quad (2.23)$$

$$p = \sqrt{\left(\frac{CSt^2}{P}\right) + \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)} \quad (2.24)$$

$$P = \frac{cSt^2}{p - \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)} \quad (2.25)$$

(ASME Section IV 2004:26)

- t = Tebal pelat yang dibutuhkan
- p = Maksimal jarak antar pipa api (inchi)
- c = 2.7 untuk pipa api pengelasan ketebalan kurang dari 11 mm (7/16“)
- c = 2.8 untuk pipa api pengelasan ketebalan lebih dari 11 mm (7/16“)
- S = Kekuatan stres maksimum material (*maximum allowable stress*) (Psi)
- P = Tekanan perancangan (*design pressure*) (Psi)
- D = Diameter luar pipa (inchi)

### 2.8.4. Ligament

*Ligament* adalah jarak plat antara lubang pipa api pada *tubesheet*. Pengaturan pengaplikasian *ligament* untuk bukaan silinder bertekanan (*cylindrical-pressure*) disesuaikan dengan pola yang akan digunakan. Desain *Ligament* menggunakan pola jarak yang sama pada setiap baris. Efisiensi *ligament* ditentukan dengan menggunakan rumus :

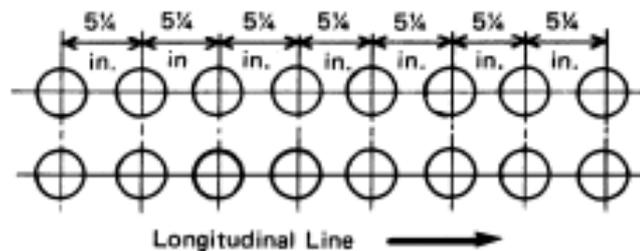
$$E = \frac{p-d}{p} \quad (2.26)$$

(ASME Section IV 2004:29)

E = Efisiensi *ligament*

p = jarak antara lubang (inchi)

d = diameter lubang pipa api (inchi)



Gambar 2.13. contoh pola jarak lubang *tubesheet* yang sama pada setiap baris

(ASME Section IV 2004:29)

### 2.8.5. Pipa Nosel

Pipa nosel berfungsi sebagai penopang instrument *boiler* seperti *safety valve*, *pressure gauge / manometer*, *thermometer*, *water level gauge*, *main steam valve*, dan *blowdown*. Kebutuhan pipa nosel disesuaikan dengan kebutuhan fungsi instrumennya, jadi ada perbedaan ukuran pipa nosel setiap instrument. Material pipa nosel menggunakan *seamless carbon steel SA 53 Grade B* untuk *boiler* ditunjukkan pada ASME Section IV Table HF-300.1.

Material SA 53 Grade B didapatkan data sebagai berikut :

- $S = \text{Maximum Allowable stress value} = 12 \text{ ksi} = 12500 \text{ lb/in}^2$   
 $\text{Yield strength} = 242 \text{ Mpa}$

(ASME Section IV 2004:73)

- $E = \text{Joint coefficient} = 85\% = 0,85$

(ASME Section IV 2004:86)

$$t = \frac{PR}{SE-0,6P} + 0,04 \quad (2.27)$$

(ASME Section IV 2004:3)

P	= Tekanan perancangan	= 6 bar = 87 lb/in <sup>2</sup>
R <sub>1</sub>	= Radius dalam pipa nosel	= 0,5 in = 12,7 mm
R <sub>2</sub>	= Radius dalam pipa nosel	= 1 in = 25,4 mm

1. Pipa nosel *safety valve, manometer, thermometer, dan water gauge*  
Pipa nosel menggunakan pipa *carbon steel* dengan ukuran diameter 1 in.  
Tebal pipa nosel yang dibutuhkan dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut :

$$t = \frac{PR_1}{SE-0,6P} + 0,04 \quad (2.28)$$

2. Pipa nosel *main steam dan blowdown*  
Pipa nosel menggunakan pipa *carbon steel* dengan ukuran 2 in. Tebal pipa nosel yang dibutuhkan dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut :

$$t = \frac{PR_2}{SE-0,6P} + 0,04 \quad (2.29)$$

## 2.9. Perhitungan Beban

$\rho$ air	= Densitas	= 1000 kg/m <sup>3</sup>
r <sub>b</sub>	= Radius badan <i>boiler</i>	= 250 mm = 0,25 m
r <sub>t</sub>	= Radius pipa api	= 21 mm = 0,21 m
r <sub>d</sub>	= Radius dapur	= 230 mm = 0,23 m
L <sub>b</sub>	= Luas alas badan <i>boiler</i>	
L <sub>t</sub>	= Luas alas pipa api	
t <sub>ta</sub>	= tinggi air pengisian terhadap pipa api	= 450 mm = 0,45 m
t <sub>ba</sub>	= Tinggi air pengisian terhadap badan <i>boiler</i>	= 750 mm = 0,75 m
t <sub>d</sub>	= Tinggi dapur	= 300 mm = 0,3 m

1. Volume badan *boiler*

Untuk mengetahui volume badan *boiler* dapat dihitung dengan rumus :

$$V_{\text{Badan boiler}} = L_b \times t_{ba} \quad (2.30)$$

2. Volume pipa api

Untuk mengetahui volume pipa api dapat dihitung dengan rumus :

$$V_{Pipa\ api} = Lt \times t_{ta} \quad (2.31)$$

3. Volume total pipa api

Untuk mengetahui volume total pipa api dapat dihitung dengan rumus :

$$V_{Pipa\ api\ (total)} = Vt \times jumlah\ pipa\ api \quad (2.32)$$

4. Volume dapur

Untuk mengetahui volume dapur dapat dihitung dengan rumus :

$$V_{dapur} = Ld \times td \quad (2.33)$$

5. Volume air

Untuk mengetahui volume air dapat dihitung dengan rumus :

$$V_{air} = V_{Badan\ boiler} - (V_{Pipa\ api\ (total)} + V_{Dapur}) \quad (2.34)$$

6. Massa air pengisian

Untuk mengetahui Massa air pengisian pada boiler dapat dihitung dengan rumus :

$$M_{air} = V_{air} \times \rho_{air} \quad (2.35)$$

$$M_{Air\ (Newton)} = M_{Air} \times 10 \frac{m}{s^2} \quad (2.36)$$

## 2.10. Perhitungan Tekanan Air

$D_b$	= Diameter badan boiler	= 500 mm = 0,5 m
$t_b$	= Tinggi badan boiler	= 950 mm = 0,95 m
$L_t$	= Luas dinding pipa api	
$D_t$	= Diameter pipa api	= 42 mm = 0,042 m
$t_t$	= Tinggi pipa api	= 650 mm = 0,65 m
$L_d$	= Luas dapur	
$D_d$	= Diameter dapur	= 460 mm = 0,46 m
$t_d$	= Tinggi dapur	= 300 mm = 0,30 m
$Ma$	= Beban air pengisian	

1. Luas dinding badan *boiler*

Untuk mengetahui luas dinding badan *boiler* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$L_{Dinding\ badan\ boiler} = \pi D_b t_b \quad (2.37)$$

2. Luas pipa api total

Untuk mengetahui luas total keseleruhan pipa api dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$L_{pipa\ api\ (total)} = L_{Pipa\ api} \times \text{jumlah pipa api} \quad (2.38)$$

3. Luas dapur

Untuk mengetahui luas dapur dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$L_{dapur} = \pi D_d t_d \quad (2.39)$$

4. Total permukaan

Untuk mengetahui total permukaan dapat dihitung dengan rumus :

$$Total\ permukaan = L_{Dinding\ badan\ boiler} + L_{pipa\ api\ (total)} + L_{Dapur} \quad (2.40)$$

5. Tekanan kerja

Untuk mengetahui tekanan kerja dapat dihitung dengan rumus :

$$Tekanan\ kerja = \frac{M_{air}}{Total\ permukaan} \quad (2.41)$$

### 2.11. Perhitungan Volume Ruang Uap

$V_{sb}$  = Volume badan *boiler*

$V_{sf}$  = Volume pipa api

$L_{sb}$  = Luas badan *boiler*

$L_{sf}$  = Luas pipa api

$r_{sb}$  = Radius badan *boiler* = 250 mm = 0,25 m

$r_{sf}$  = Radius pipa api = 21 mm = 0,021 m

$t_{sb}$  = Tinggi badan *boiler* = 200 mm = 0,2 m

$t_{sf}$  = Tinggi pipa api = 200 mm = 0,2 m

1. Volume badan *boiler*

Untuk mengetahui volume badan *boiler* disekitar ruang uap dapat dihitung dengan rumus :

$$V_{sb} = L_{sb} \times t_{ba} \quad (2.42)$$

2. Volume pipa api

Untuk menghitung volume pipa api disekitar ruang uap dapat dihitung dengan rumus :

$$V_{sf} = L_{sf} \times t_{sf} \quad (2.43)$$

3. Volume ruang uap

Untuk mengetahui volume ruang uap dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V_{ruang\ uap} = V_{sb} - V_{sf} \quad (2.44)$$

## 2.12. Perhitungan Kebutuhan Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan untuk proses pemanasan adalah kayu bakar. Kebutuhan bahan bakar dapat diketahui dari perhitungan-perhitungan berikut ini : Untuk mengetahui jumlah panas yang dipindahkan pada *boiler* dapat menggunakan rumus berikut :

$$Q = S \times \Delta i \quad (2.45)$$

S = Kapasitas *boiler* (kg/jam)

Diasumsikan kapasitas *boiler* sebesar 100 kg/jam

Q = Jumlah panas yang dipindahkan pada *boiler*

$\Delta i$  = Entalpi uap – entalpi air pengisian ketel

- Entalpi uap pada tekanan kerja 6 bar (600 kPa) = 2755,5 KJ/kg

- Entalpi air pengisian ketel 1 atm (101.325 kPa) = 419,1 KJ/kg

Konsumsi bahan bakar *boiler* dapat diketahui dari rumus berikut :

$$B = \frac{Q}{LHV \times \eta_{boiler}} \quad (2.46)$$

B = konsumsi bahan bakar

LHV = (Low Heating Value) bahan bakar kayu = 19.551 MJ/kg

Biomass Energy Data Book 2011, Appendix A (Lower and Higher Heating Value of Gas, Liquid and solid fuels)

$\eta_{\text{boiler}}$  = Efisiensi *steam boiler* (efisiensi normal = 70%)

### 2.13. Perhitungan Penguapan Awal

Untuk mengetahui waktu penguapan awal dapat menggunakan rumus berikut ini :

$$Q = m c \Delta t \quad (2.47)$$

Q = Kalor yang dibutuhkan (J atau kalori)

m = Massa air pengisian

c = Kalor jenis air = 1,0069 kal/gram<sup>0</sup>C

$\Delta$  = Perubahan temperature

$t_1$  = 20<sup>0</sup>C (temperature awal air)

$t_2$  = 100<sup>0</sup>C (temperature air mendidih)

Selanjutnya untuk mendapatkan waktu pemanasan awal dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$Q_1 = Q_2 \quad (2.48)$$

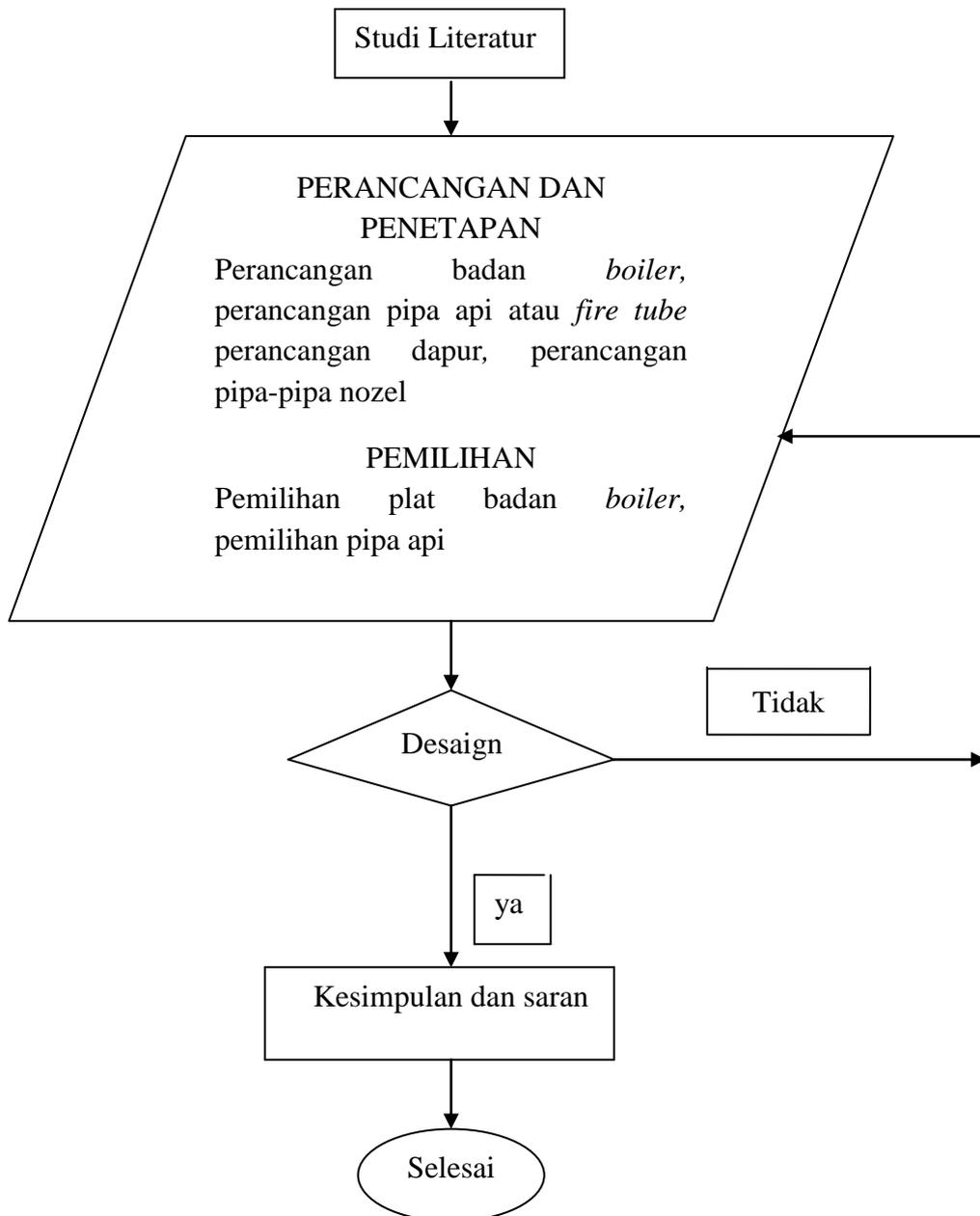
### 2.14. Perhitungan Penggunaan Uap

Penggunaan uap dari *boiler* menjadi ukuran berapakah produksi maksimal yang dapat dihasilkan dari *boiler* yang telah dirancang. Diasumsikan setiap 1 kali memasak bubur kedelai dalam 1 tempat sebanyak 80 liter bubur kedelai atau terdiri dari 30 kg kering dan 50 kg air. Dari asumsi tersebut maka dapat diketahui massa uap air yang dibutuhkan dalam 1 kali memasak hingga bubur kedelai mendidih, dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$m_{\text{air}}c_{\text{air}}\Delta t = m_{\text{uap}}c_{\text{uap}}\Delta t \quad (2.49)$$

**BAB III**  
**METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1. Diagram Alir Penelitian**



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

Metode penelitian adalah suatu rancangan penelitian yang memberikan arah bagi pelaksanaan penelitian sehingga data yang diperlukan dapat terkumpul. Metode penelitian pada dasarnya merupakan cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu ( Sugiyono 2009 : 2 ).

### 3.2.Desain Penelitian

Desain penelitian yang digunakan adalah *Research and Development* yaitu metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan sebuah perancangan, dimana dalam perancangan tersebut mengetahui sebuah rancangan yang akan diuji. Secara umum proses perancangan suatu produk melibatkan iterasi yang panjang dan berulang-ulang ( Yamin dkk 2008:50 ). Pada penelitian ini yaitu perancangan *boiler* pipa api untuk perebusan bubur kedelai pada industri tahu kapasitas uap jenuh 160 kg/jam meliputi perancangan konstruksi *boiler* dengan standar **ASME** ( *American Society of Mechanical Engineers* ), desain *boiler* dengan menggunakan *software* **INVENTOR**.

### 3.3.Obyek Penelitian

Obyek dari penelitian ini adalah desain, yang ditunjukkan dengan melakukan perhitungan pada setiap elemen-elemen struktur boiler.

### 3.4.Peralatan Penelitian

#### 1. Laptop

Laptop merupakan suatu perangkat elektronika yang dapat menerima dan mengolah data menjadi informasi, menjalankan program yang tersimpan dalam memori, serta dapat bekerja secara otomatis dengan aturan tertentu. Laptop disini berfungsi sebagai media untuk menjalankan perangkat lunak (*software*) **INVENTOR** sehingga dapat digunakan dalam pemodelan struktur *boiler*.

Laptop yang digunakan dalam perancangan ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

*Type Prosesor* : intel(R) core(TM)i5-2410M CPU @ 2.30 GHz

*Memory* : 2.86 GB

### 3.5. Metode Pengumpulan Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *research and development* dengan bantuan perangkat lunak (*software*) yang mempunyai kemampuan untuk mendesain suatu model. Pengumpulan data yang dilakukan yaitu dengan melakukan dokumentasi desain *boiler* menggunakan *software INVENTOR*. selanjutnya akan mendapatkan data perancangan *boiler* yang sesuai pada industri tahu.

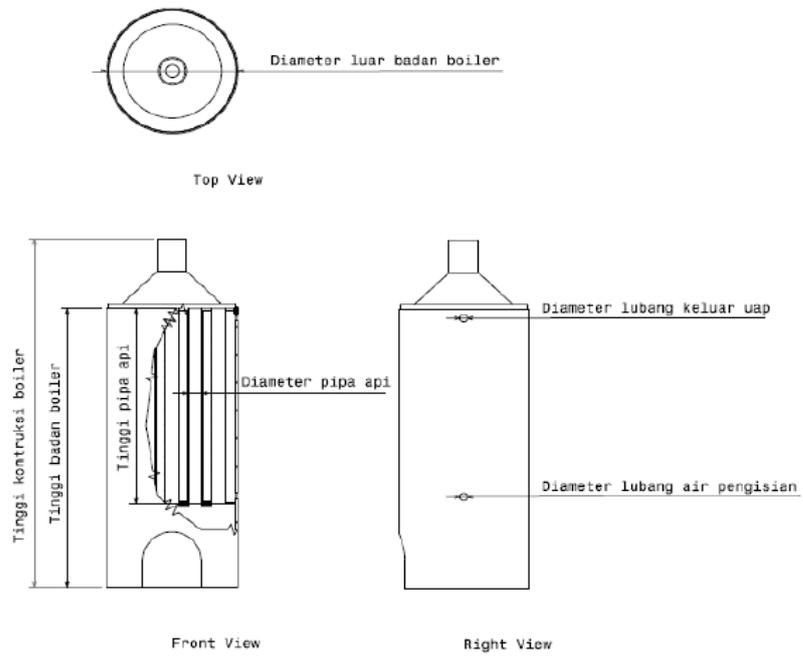
### 3.6. Langkah pelaksanaan penelitian

#### 3.6.1. Pemodelan

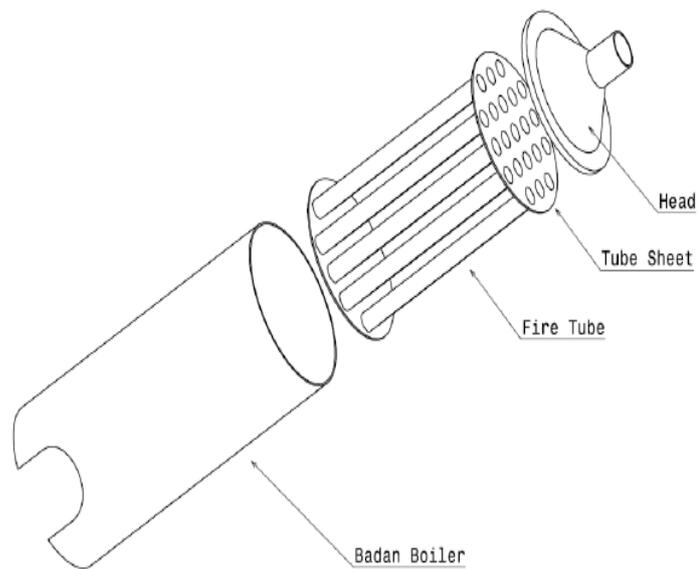
Pemodelan didasarkan pada pengamatan dan perhitungan yang telah dilakukan untuk struktur *boiler*. Spesifikasi awal perancangan *boiler* sebagai berikut :

1. Tipe *boiler* : *vertical fire tube boiler*
2. Diameter dalam badan *boiler* : 500 mm
3. Diameter pipa api : 42 mm
4. Tekanan *internal* perancangan : 6 bar
5. Jenis hasil uap : Uap jenuh
6. Temperature operasi : 100<sup>0</sup>C – 150<sup>0</sup>C
7. Tekanan uap operasi : 2 bar
8. Bahan bakar : Kayu

Desain struktur *boiler* dibuat sesuai dengan material-material yang akan digunakan. Desain *boiler* menggunakan standar **ASME** (*American Society Of Mechanical Engineers* ).

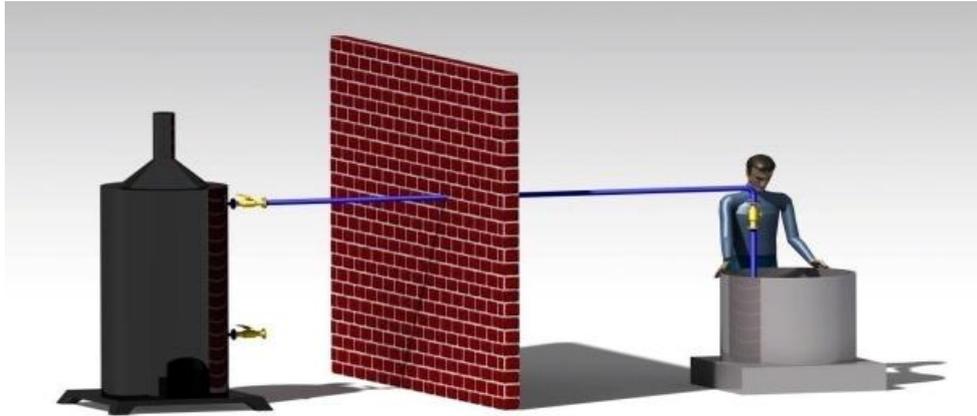


Gambar 3.2. *Boiler* pipa api vertikal (*Vertical fire tube boiler*)



Gambar 3.2. Bagian-bagian *boiler* pipa api

Gambar 3.3. Bagian-bagian *boiler* pipa api



Gambar 3.4. Instalasi *boiler* dengan panci perebusan