

**PERANCANGAN BOILER PIPA API UNTUK PEREBUSAN
BUBUR KEDELAI PADA INDUSTRI TAHU KAPASITAS UAP JENUH 160 KG/JAM**

JHONAS PURBA,

Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Pasir Pengaraian
E-mail : jhonaspurba1@gmail.com

ABSTRAK

Boiler atau ketel uap adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan uap. uap diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar. Uap air adalah sejenis fluida yang merupakan fase gas dari air. Penelitian ini bertujuan untuk: 1) merancang konstruksi *boiler* jenis *Vertical fire tube boiler* dengan kapasitas 160 kg/jam menghasilkan uap jenuh pada temperatur 100^oC – 150^oC untuk digunakan pada proses pemanasan sistem uap pada industri tahu. 2) Dengan perancangan *boiler* ini dapat menamabah wawasan pembuat *boiler* khususnya bagi para pengusaha industri tahu, dan memberikan informasi tentang pemanfaatan *boiler* kepada masyarakat. 3) merancang konstruksi *boiler* yang aman dengan standar perancangan ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) ASME Section IV. 4) mengetahui desain *boiler* menggunakan *software* INVENTOR. Hasil penelitian didapatkan spesifikasi *boiler* jenis *Vertical fire tube boiler* dengan tekanan uap operasi 2 bar dan tekanan internal perancangan 6 bar. Dimensi *boiler* diameter 504,6mm, tinggi 1450 mm dan di dalamnya terdapat pipa api dengan diameter 42 mm berjumlah 13 buah. Bahan bakar menggunakan kayu bakar dan juga volume air maksimal yang dapat diisikan dalam *boiler* hingga 89,4 liter. Material yang digunakan untuk plat yaitu *carbon steel* SA 285 Grade C dan untuk pipa-pipa materialnya yaitu *seamless carbon steel* SA 53 Grade B.

Kata Kunci : *Boiler*, ASME

1.1 PENDAHULUAN

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.

Dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perancangan konstruksi *boiler* jenis *vertical fire tube boiler* yang menghasilkan uap jenuh pada temperatur 100^oC -150^oC, 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 ?

Batasan masalah sebagai berikut :

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.

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 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 mengkonversikan 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).

2.2 Uap Atau 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 adi kering dipanaskan lebih lanjut maka dia menjadi uap adi 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 adi panas

1. 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 diatas api dengan bahan bakar kayu. Proses perebusan kedelai juga dapat dilakukan dengan menggunakan pemanasan sistem uap. Proses perebusan ini dilakukan disebuah 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.

2.3 Instrumen Boiler Penunjang Perancangan

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.

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 150⁰C.

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.

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.

5. *Main steam valve*

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

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.

2.4 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.

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 kekuatannya.

2.5 Metode Elemen Hingga

2.5.1 Kosep 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 *continu* 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.

2.5.2 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 *Parametic 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 mendesain 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.

BAB III METODOLOGI 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).

3.1 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**.

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Kontruksi Boiler

4.1.1 Badan Boiler

Boiler yang direncanakan tergolong ke dalam *steam boiler* kapasitas kecil (kurang dari 10 ton/jam) dan bertekanan rendah (kurang dari 10 atm), sehingga standar perancangan yang digunakan yaitu ASME Section IV. Material dalam merencanakan badan boiler ini menggunakan bahan SA 285 Grade C merupakan material *carbon steel* untuk boiler pada ASME Section IV.

Material SA 285 Grade C didapatkan data sebagai berikut :

$$S = \text{maximum allowable stress value} = 75,84 \text{ Mpa} \\ = 11000 \text{ lb/in}^2$$

(ASME Section IV 2004:73)

$$- E = \text{Joint coefficient} = 85\% = 0,85 \\ (\text{ASME Section IV 2004:86})$$

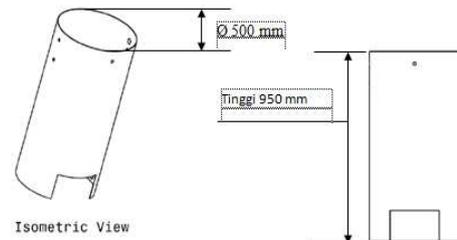
Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.18).

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

(ASME Section IV 2004:3)

- P = Tekanan perancangan = 6 bar = 87 lb/in²
- R = Radius dalam boiler = 9,84 in = 250 mm
- D = Diameter dalam badan boiler = 500 mm

Pada ASME Section IV variable tinggi tidak digunakan untuk mencari tebal badan boiler, maka disini peneliti menentukan sendiri tinggi badan boiler sesuai dengan kapasitas tampungan air yang akan dirancang. Tinggi badan boiler yaitu 950 mm.



Gambar 4.1. Ukuran badan boiler

Jadi, dengan *Maximum Allowable Working Pressure* (MAWP) 87 lb/in² ketebalan plat yang direncanakan sebesar 0,091 in atau 2,31 mm, dan didapatkan diameter luar badan boiler sebesar 504,6 mm.

4.1.2 Pipa Api (Fire Tube)

Pipa api yang dirancang harus dapat menahan *Maximum Allowable Working Pressure* (MAWP) sebesar 87 lb/in². Material pipa api menggunakan *seamless carbon steel* SA 53 Grade B untuk boiler pada ASME Section IV. Pipa api pada boiler ini merupakan part yang mendapatkan *external pressure*. Pada perhitungan ketebalan pipa direncanakan dengan metode *trial and error* untuk mendapatkan ketebalan yang sesuai, sebagai berikut :

Material SA 53 Grade B didapatkan data sebagai berikut :

$$- S = \text{Maximum Allowable stress value} \\ = 82,73 \text{ Mpa} = 12000 \text{ lb/in}^2 \\ (\text{ASME Section IV 2004:73})$$

$$- E = \text{Joint coefficient} \\ = 85\% = 0,85 \\ (\text{ASME Section IV 2004:86})$$

Pipa api :

$$D = \text{Diameter luar pipa api} = 1,67 \text{ in} = 42,418 \text{ mm}$$

$$L = \text{Panjang pipa api} = 25,6 \text{ in} = 650 \text{ mm}$$

**Jurnal Perancangan Boiler Pipa Api Untuk Perebusan
Bubur Kedelai Pada Industri Tahu Kapasitas Uap Jenuh 160 Kg/Jam**

P = Tekanan perancangan = 6 bar = 87 lb/in²
T = Temperatur perancangan = 150°C

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

Menentukan L/D_0 dan D_0/t , dapat dihitung dari persamaan (2.21).

$$\frac{L}{D_0} = \frac{25,6 \text{ in}}{1,67 \text{ in}} = 15,32 \text{ in}$$

$$\text{Diasumsikan } \frac{D_0}{t} = 60$$

Dari tabel ASME Section II Part D 2010 Tabel G dan ASME Section II Part D 2010 Table CS-2 didapatkan :

D_0/t	L/D_0	Faktor A	t (°C)	Faktor A	Faktor B (Mpa)	Faktor B (lb/in ²)
60	10,000	$3,22 \times 10^{-4}$	150	$1,6 \times 10^{-4}$	15,63	2266,93
60	14,430	$3,1 \times 10^{-4}$	150	$3,1 \times 10^{-4}$	30,29	4393,19
60	25,000	$3,07 \times 10^{-4}$	150	$7,83 \times 10^{-4}$	77,90	11298,44

Tabel 4.1. Pencarian P dengan $D_0/t = 60$

Dari tabel 4.1 digunakan untuk mencari nilai P, dengan syarat $P > P_1$

$$P > P_1$$

$$73,22 \text{ lb/in}^2 > 88 \text{ lb/in}^2$$

Dapat dihitung dari persamaan (2.22).

$$\frac{D_0}{t} = 60$$

$$P = \frac{B}{D_0/t}$$

Jadi, $D_0/t = 60$ tidak dapat digunakan

$$\text{Diasumsikan } \frac{D_0}{t} = 50$$

Dari tabel ASME Section II Part D 2010 Tabel G dan ASME Section II Part D 2010 Table CS-2 didapatkan :

D_0/t	L/D_0	Faktor A	t (°C)	Faktor A	Faktor B (Mpa)	Faktor B (lb/in ²)
50	12,000	$4,49 \times 10^{-4}$	150	$2,84 \times 10^{-4}$	27,90	4046,55
50	14,430	$4,46 \times 10^{-4}$	150	$4,46 \times 10^{-4}$	43,81	6354,10
50	16,000	$4,44 \times 10^{-4}$	150	$8,0 \times 10^{-4}$	78,60	11109,89

Tabel 4.2. Pencarian P dengan $D_0/t = 50$

$$P > P_1$$

$$127,08 \text{ lb/in}^2 > 88 \text{ lb/in}^2$$

Jadi, $D_0/t = 50$ dapat digunakan

Berdasarkan perhitungan *trial and error* di atas maka diambil $D_0/t = 50$, karena nilai P lebih lebih besar dari pada nilai P_1

Dari perhitungan didapat ketebalan 0,85 mm, untuk mempermudah saat perancangan maka ketebalan pipa yang digunakan adalah 1 mm, dengan diameter luar pipa 42,5 mm. sehingga diameter dalam pipa api adalah 40,5 mm.

4.1.3 Tubesheet

Material *tubesheet* menggunakan SA 285 Grade C merupakan material *carbon steel* untuk boiler pada ASME Section IV.

Material SA 285 Grade C didapatkan data sebagai berikut :

- $S = \text{maximum allowable stress value}$
= 75,84 Mpa = 11000 lb/in²
(ASME Section IV 2004:73)
- $E = \text{joint coefficient}$
= 85% = 0,85
(ASME Section IV 2004:86)

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.23).

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

P = Tekanan perancangan = 6 bar = 87 lb/in²
P = Maksimal jarak antar pipa api = 3,937 in (100 mm)

C = 2,7 untuk pipa api pengelasan ketebalan kurang dari 11 mm (7/16 inchi)

= 2,8 untuk pipa api pengelasan ketebalan lebih dari 11 mm (7/16 inchi)

(ASME Section IV 2004:26)

D = Diameter luar pipa = 1,67 in (42,5 mm)

(ASME Section IV 2004:26)

Hasil perhitungan menunjukkan kebutuhan ketebalan *tubesheet* sebesar 0,196 in (5,001 mm), maka dengan ketebalan plat 5 mm dapat menahan tekanan sebesar :

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.25).

$$P = \frac{CS t^2}{p^2 - \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)}$$

Jadi, ketebalan plat yang direncanakan sebesar 0,196 in atau 5 mm dapat menahan tekanan sebesar 85,76 lb/in²

4.1.4 ligament

Efisiensi *ligament* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.26).

$$E = \frac{p-d}{P}$$

(ASME Section IV 2004)

P = Jarak lubang = 3,543 in (90 mm)

D = Diameter lubang pipa api = 1,67 in (42,418 mm)

$$E = \frac{3,543 \text{ in} - 1,67 \text{ in}}{3,543 \text{ in}}$$

$$E = 0,52 = 52\%$$

4.1.5 Pipa Nozel

1. Pipa nosel *safety valve, manometer / pressure gauge, thermometer, dan water level gauge*

Ketebalan pipa nosel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.28).

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

P = Tekanan perancangan = 6 bar = 87 lb/in²

R1 = Radius dalam pipa nosel = 0,5 in = 12,7 mm

R_2 = Radius dalam pipa nosel = 1 in = 25,4 mm

Ketebalan pipa nosel minimal yang diijinkan yaitu 1 mm (0,04 in). Jadi, dari hasil perhitungan yaitu 0,044 in (1,1 mm) memenuhi syarat dan dapat digunakan.

2. Pipa nosel *main steam* dan *blowdown*

Ketebalan pipa nosel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.29).

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

Ketebalan pipa nosel minimal yang diijinkan yaitu 1 mm (0,04 in). jadi, dari hasil perhitungan yaitu 0,048 in (1,2 mm) memenuhi syarat dan dapat digunakan.

4.2 Perhitungan Beban

ρ air = Densitas

$$= 1000 \text{ kg/m}^3$$

r_b = Radius badan boiler

$$= 250 \text{ mm} = 0,25 \text{ m}$$

r_t = Radius pipa api = 21 mm = 0,021 m

r_d = Radius dapur = 230 mm = 0,23 m

L_b = Luas alas badan boiler

L_t = Luas alas pipa api

t_{ta} = tinggi air pengisian terhadap pipa api

$$= 450 \text{ mm} = 0,45 \text{ m}$$

t_{ba} = Tinggi air pengisian terhadap badan boiler

$$= 750 \text{ mm} = 0,75 \text{ m}$$

t_d = Tinggi dapur = 300 mm = 0,3 m

1. Volume Badan Boiler

dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.30).

$$V_{Badan boiler} = L_b \times t_{ba} \\ = 0,147 \text{ m}^3$$

2. Volume Pipa Api

dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.31).

$$V_{Pipa api} = L_t \times t_{ta} \\ = 0,0006 \text{ m}^3$$

3. Volume Pipa Api Total

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.32)

$$V_{Pipa api (total)} = V_t \times \text{jumlah pipa api} \\ = 0,0078 \text{ m}^3$$

4. Volume Dapur

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.33)

$$V_{dapur} = L_d \times t_d \\ = 0,0498 \text{ m}^3$$

5. Volume Air

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.34)

$$V_{air} = V_{Badan boiler} - (V_{Pipa api (total)} + V_{Dapur}) \\ = 0,0894 \text{ m}^3$$

6. Massa Air Pengisian

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.35)

$$M_{air} = V_{air} \times \rho_{air} \\ = 89,4 \text{ liter}$$

Air pengisian maksimal yang dapat dimasukkan ke dalam boiler yaitu 93,7 liter.

$$M_{Air (Newton)} = 89,4 \text{ kg} \times 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ = 894 \text{ N}$$

4.3 Perhitungan Tekanan Air

D_b = Diameter badan boiler = 500 mm = 0,5 m

t_b = Tinggi badan boiler

$$= 950 \text{ mm} = 0,75 \text{ m}$$

L_t = Luas dinding pipa api

D_t = Diameter pipa api

$$= 42 \text{ mm} = 0,042 \text{ m}$$

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

M_a = Beban air pengisian

1. Luas Dinding Badan Boiler

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.37)

$$L_{Dinding badan boiler} = \pi D_b t_b \\ = 1,4915 \text{ m}^2$$

2. Luas Pipa Api Total

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.38)

$$L_{Fire tube (total)} = L_{Fire tube} \times \text{jumlah pipa api} \\ = 1,1143 \text{ m}^2$$

3. Luas Dapur

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.39)

$$L_{dapur} = \pi D_d t_d \\ = 0,4333 \text{ m}^2$$

4. Total Permukaan

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.40)

$$\text{Total permukaan} = L_{Dinding badan boiler} + L_{Pipa api (total)} + L_{Dapur} \\ = 3,0391 \text{ m}^2$$

5. Tekanan Kerja

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.41)

$$\text{Tekanan kerja} = \frac{M_{air}}{\text{Total permukaan}} \\ = 294,1 \text{ N/m}^2$$

4.4 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

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.42)

$$V_{sb} = L_{sb} \times t_{ba} = 0,040 \text{ m}^3$$

2. Volume Pipa Api

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.43)

$$V_{sf} = L_{sf} \times t_{sf} = 0,00028 \text{ m}^3$$

3. Volume Ruang Uap

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.44)

$$V_{ruang \text{ uap}} = V_{sb} - V_{sf} = 39,7 \text{ liter}$$

Jadi, volume ruang uap pada boiler adalah 39,7 liter.

4.5 Perhitungan Kebutuhan Bahan Bakar

S = Kapasitas boiler (kg/jam)

Diasumsikan kapasitas boiler sebesar 100 kg/jam

Q = Jumlah panas yang dipindahkan pada boiler

Δi = 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

1. Jumlah Panas Yang Dipindahkan Pada boiler

Jumlah panas yang dipindahkan pada boiler dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.45).

$$Q = S \times \Delta i = 233640 \text{ kJ/jam}$$

2. Konsumsi Bahan Bakar Boiler

Konsumsi bahan bakar boiler dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.46).

$$B = \frac{Q}{LHV \times \eta_{boiler}}$$

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))

η_{boiler} = Efisiensi steam boiler (efisiensi normal = 70%)

$$B = 17,07 \text{ kg/jam}$$

Jadi kebutuhan bahan bakar pada boiler industri tahu ini yaitu 17,07 kg/jam bahan bakar kayu.

4.6 Perhitungan Penguapan Awal

Dari perhitungan kebutuhan bahan bakar didapatkan data sebagai berikut :

1. Kebutuhan bahan bakar = 17,07 kg/jam
2. Kalor boiler = 233640 kJ/jam

3. Massa air pengisian boiler = 89,4 kg = 89400 gram

Dari data di atas maka untuk mengetahui waktu penguapan awal dapat dihitung menggunakan persamaan (2.47).

$$Q = m c \Delta t$$

Q : Kalor yang dibutuhkan (J atau kalori)

m : Massa air pengisian = 89,4 kg = 89400 gram

c : Kalor jenis air = 1,0069 kal/gram^{0C}

Δt : Perubahan temperatur

t_1 = 20^{0C} (temperatur awal air)

t_2 = 100^{0C} (temperatur air mendidih)

$$Q = 30130239,2 \text{ J}$$

Selanjutnya untuk mendapatkan waktu pemanasan awal dapat dihitung menggunakan persamaan (2.48).

$$Q_1 = Q_2$$

Q1 = kalor boiler = 233640 kJ/jam (dari perhitungan konsumsi bahan bakar)

Q2 = kalor yang dibutuhkan untuk penguapan = 30130,24 kJ

$$Q_1 = Q_2$$

$$\text{Waktu penguapan awal} = \frac{1}{7,75} \text{ jam}$$

$$\text{Waktu penguapan awal} = 8 \text{ menit}$$

Jadi, dari perhitungan didapatkan waktu penguapan awal sebesar 8 menit. Artinya air mulai menguap pada 8 menit dengan bahan bakar maksimal.

4.7 Perhitungan Penggunaan Uap

Untuk mengetahui perhitungan penggunaan uap dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2.49)

$$m_{air} \cdot c_{air} \Delta t = m_{uap} \cdot c_{uap} \Delta t$$

$$c_{air} = 4200 \text{ J/kg}^0\text{C}$$

$$c_{uap} = 2100 \text{ J/kg}^0\text{C}$$

$$m = 160 \text{ kg}$$

Jadi kebutuhan uap air setiap 1 kali memasak sebesar 160 kg uap air. Jika disesuaikan dengan kapasitas produksi uap boiler, maka setiap 1 kali memasak kira-kira membutuhkan waktu 1 jam.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan standar ASME (American Society of Mechanical Engineers) dan desain struktur pada konstruksi boiler menggunakan software INVENTOR maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan melakukan perancangan boiler ini,
2. Dapat meningkatkan wawasan dan pengetahuan bagi pembuat boiler dan khususnya bagi para pengusaha industri tahu.
 - a. Memberikan informasi tentang pemanfaatan boiler kepada masyarakat.
 1. Hasil perancangan konstruksi boiler jenis Vertical fire tube boiler dengan spesifikasi sebagai berikut :

- a. Jenis uap = Uap basah
- b. Temperatur operasi = $100^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$
- c. Tekanan internal = 6 bar
- d. Tekanan operasi = 2 bar
- e. Bahan bakar = kayu bakar
- f. Volume air maksimal = 89,4 liter
- g. Dimensi boiler
 - 1. Diameter boiler = 504,6 mm
 - 2. Tinggi boiler = 1450 mm
 - 3. Diameter pipa api = 42,5 mm
 - 4. Jumlah pipa api = 13
- 2. Hasil perhitungan konstruksi boiler dengan standar perancangan ASME didapatkan data sebagai berikut :
 - a. Badan boiler = \varnothing 500 mm, tinggi 950 mm, tebal 2,31 mm
Bahan plat SA 285 Grade C
 - b. Pipa api = \varnothing 42 mm, tinggi 650 mm, tebal 1 mm
Bahan pipa SA 53 Grade B
 - c. Tubesheet atas = \varnothing 500 mm, tebal 5 mm,
Bahan plat SA 285 Grade C
 - d. Tubesheet bawah = \varnothing 460 mm, tebal 5 mm,
Bahan plat SA 285 Grade C
 - e. Pipa nosel main steam = \varnothing 50,8 mm, tinggi 13 mm, tebal 1,2 mm
Bahan pipa SA 53 Grade B
 - f. Pipa nosel blowdown = \varnothing 50,8 mm, tinggi 13 mm, tebal 1,2 mm
Bahan pipa SA 53 Grade B
 - g. Pipa nosel water level = \varnothing 25,4 mm, tinggi 13 mm, tebal 1,1 mm
Bahan pipa SA 53 Grade B
 - h. Pipa nosel safety valve = \varnothing 25,4 mm, tinggi 13 mm, tebal 1,1 mm
Bahan pipa SA 53 Grade B
 - i. Pipa nojel thermometer = \varnothing 25,4 mm, tinggi 13 mm, tebal 1,1 mm
Bahan pipa SA 53 Grade B
 - j. Pipa nosel manometer = \varnothing 25,4 mm, tinggi 13 mm, tebal 1,1 mm
Bahan pipa SA 53 Grade

5.2 Saran

1. Kontruksi boiler yang sudah dirancang telah memenuhi syarat standar perancangan ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) sehingga disarankan kepada pihak industri agar dapat memenuhi spesifikasi dan dimensi dalam memproduksi boiler untuk industri tahu ini.
2. Perancangan boiler ini menghasilkan bentuk atau dimensi boiler, untuk mengetahui penggunaan boiler diharapkan ada penelitian lebih lanjut untuk menganalisis efisiensi dan kinerja boiler yang sudah dirancang.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASME. 2004. *Boiler & Pressure Vessel Code IV, Rules For Contruction fo Heating Boiler*. New York : Three Park Avenue
2. https://www.asme.org/getmedia/1adfc3df-7dab-44bf-a078-8b1c7d60bf0d/ASME_BPVC_2013-Brochure.aspx 29-12-2015, pukul 15:08
3. <https://law.resource.org/pub/us/code/ibr/asmepvc.iv.2007.pdf> 29-12-2015 pukul 15:09
4. <http://eprints.polsri.ac.id/2009/3/3%20BABII%200.pdf> 29-12-2015 pukul 17:42
5. [Eprints.polsri.ac.id/1953/3/BAB II.pdf](http://eprints.polsri.ac.id/1953/3/BAB%20II.pdf) 31-12-2015 pukul 05:46
6. Rusnoto. 2008. *Perencanaan Ketel Uap Tekanan 6 Atm dengan Bahan Bakar Kayu untuk Industri Sederhana*. Oseatek, Edisi 4. Hal 32-35
7. Widyatama Monelis, Pramono dan Dony Hidayat Al-Janah. 2013. *Perancangan Rear Part Mobil Listrik Menggunakan Software 3D Siemens NX8*. Automotive Science and Education Journal.
8. Dwi Ardiyanto Effendy. 2013. "Rancang Bangun Boiler untuk Proses Pemanasan Sistem Uap pada Industri Tahu dengan Menggunakan Catia V5". Skripsi
9. <http://lsien.lalondesystemi.netdna-cdn.com/steam-condensate/wp-content/uploads/saturated-steam-table.pdf> 6-012-16 pukul 5:32
10. Muin, Syamsir A. 1988. *Pesawat-Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)*. Jakarta: Rajawali Pers.
11. Singer F.L dan A. Pytel. 1985. *Kekuatan Bahan (Teori Kokoh – Strenghth of Materials)*. Jakarta : Erlangga
12. Weaver W dan P.R Johnston. 1993. *Elemen Hingga untuk Analisis Struktur*. Bandung : PT Eresco
13. Sugiono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif Dan R & D*. Bandung : Alfabeta
14. Yamin M, Dita Satyadarma dan Opik A. Hazanudin. 2008. *Analisis Tegangan Pada Rangka Mobil Boogie*. Depok: Proceeding, Seminar Ilmiah Nasional Komputer dan Sistem Intelejen Universitas Gundarma