



**RANCANG BANGUN *BOILER* UNTUK PROSES
PEMANASAN SISTEM UAP PADA INDUSTRI TAHU
DENGAN MENGGUNAKAN CATIA V5**

SKRIPSI

Disusun sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan

oleh

Nama : Dwi Ardiyanto Effendy
NIM : 5201409010
Prodi : Pendidikan Teknik Mesin
Jurusan : Teknik Mesin

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2013**

PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Dwi Ardiyanto Effendy

NIM : 5201409010

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Judul : *“Rancang Bangun Boiler untuk Proses Pemanasan Sistem Uap pada Industri Tahu dengan Menggunakan Catia V5”*

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji dan diterima sebagai persyaratan memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Panitia Ujian

Ketua : Dr. Muhammad Khumaedi M.Pd ()
NIP. 196209131991021001

Sekretaris : Wahyudi, S. Pd, M. Eng ()
NIP. 197408152000031001

Dewan Penguji

Pembimbing I : Drs. Sunyoto, M.Si ()
NIP. 196511051991021001

Pembimbing II : Drs. Masugino M.Pd ()
NIP. 195207211980121001

Penguji Utama : Drs. Pramono ()
NIP. 195809101985031002

Penguji Pendamping I : Drs. Sunyoto M.Si ()
NIP. 196511051991021001

Penguji Pendamping II : Drs. Masugino M.Pd ()
NIP. 195207211980121001

Ditetapkan di Semarang

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik

Drs. Muhammad Harlanu M.Pd.
NIP. 196602151991021001

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul “Rancang Bangun *Boiler* untuk Proses Pemanasan Sistem Uap pada Industri Tahu dengan Menggunakan CATIA V5” disusun berdasarkan penelitian saya dengan arahan dari dosen pembimbing. Sumber informasi atau kutipan yang berasal dari karya yang diterbitkan telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini. Skripsi ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar dalam program sejenis di perguruan tinggi manapun.

Semarang, September 2013

Dwi Ardiyanto Effendy
NIM. 5201409010

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

1. Apa yang dialami sekarang adalah hasil dari perbuatan dimasa lalu
2. Ingatlah kekuatan mimpi, dan orang-orang sukses itu adalah orang-orang yang mempunyai mimpi yang besar.
3. Sesuatu yang besar berawal dari hal yang kecil

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Ibu, adek dan keluarga yang saya sayangi.
2. Keluarga besar LEKMAPALA FT-UNNES.
3. Teman-teman PTM Angkatan 2009.

ABSTRAK

Dwi Ardiyanto Effendy. 2013. “Rancang Bangun Boiler untuk Proses Pemanasan Sistem Uap pada Industri Tahu dengan Menggunakan Catia V5”. Skripsi : Prodi Pendidikan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Semarang.

Kata kunci : *Boiler*, ASME, CATIA V5

Penelitian ini bertujuan untuk: 1) merancang konstruksi *boiler* jenis *Vertical fire tube boiler* dengan kapasitas 300 kg/jam menghasilkan uap jenuh pada temperatur $100^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$ untuk digunakan pada proses pemanasan sistem uap pada industri tahu, 2) merancang konstruksi *boiler* yang aman dengan standar perancangan ASME (*American Society of Mechanical Engineers*), 3) mengetahui desain dan analisis statis *boiler* menggunakan CATIA (*Computer Aided Three Dimensional Interactive Application*) V5.

Penelitian dilakukan menggunakan metode *Research and Development* dengan bantuan perangkat lunak (*software*) yang mampu menganalisa karakteristik suatu model. Konstruksi *boiler* dirancang dengan standart ASME (*American Society of Mechanical Engineers*), selanjutnya mendesain *boiler* pada CATIA V5 dan analisis statis *boiler* yang dilakukan dengan beban dan temperatur yang diasumsikan sebagai obyek penelitian dengan menekankan pada subjek *displacement* dan *stress* pada konstruksi *boiler*.

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 757 mm, tinggi 2200 mm dan didalamnya terdapat pipa api dengan diameter 68 mm berjumlah 21 buah. Bahan bakar menggunakan kayu bakar dan juga volume air maksimal yang dapat di isikan dalam *boiler* hingga 327 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. Dari hasil analisis statis *boiler* diperoleh tegangan maksimal $2,92 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ dan masih berada pada daerah deformasi elastis atau masih berada dibawah *yield strength material*. *Displacement* yang terjadi pada konstruksi *boiler* adalah 1,47 mm. Konstruksi *boiler* memiliki angka keamanan 1,42 dan standar keamanan pada *joint coefficient* yaitu sebesar 85%. Sehingga dari data tersebut maka konstruksi boiler dapat dikatakan aman.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya. Shalawat serta salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW dan keluarganya serta kepada para sahabat-sahabatnya.

Penulis sangat bersyukur karena dengan rahmat dan hidayah-Nya serta partisipasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu baik moril maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul ***“Rancang Bangun Boiler untuk Pemanasan Sistem Uap pada Industri Tahu dengan Menggunakan Catia V5 ”***. Oleh karena itu dengan kerendahan hati penulis sampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Drs. Muhammad Harlanu M.Pd, Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan ijin penelitian dalam memperlancar penyelesaian skripsi ini.
2. Dr. Muhammad Khumaedi M.Pd, Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan kemudahan administrasi kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
3. Wahyudi S.Pd, M.Eng, Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan kritik dan saran kepada penulis untuk menyusun skripsi yang benar.
4. Drs, Sunyoto, M. Si, Pembimbing I yang telah memberikan waktu, bimbingan, motivasi dan petunjuk dalam menyelesaikan skripsi ini.

5. Drs. Drs. Masugino M.Pd, Pembimbing II yang telah memberikan waktu, bimbingan, motivasi dan petunjuk dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Drs. Pramono, Dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Mas Kriswanto yang telah memberikan masukan, saran dan solusi-solusi dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Keluarga besar mahasiswa Pendidikan Teknik Mesin angkatan 2009 yang selalu memberikan dukungan.
9. Ibu, adik dan keluarga yang senantiasa memberikan dukungan dan doa.
10. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya skripsi ini.

Penulis juga menyadari bahwa dalam skripsi ini masih banyak kekurangannya, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam perbaikan skripsi ini. Semoga Allah SWT memberikan pahala berlipat ganda atas bantuan dan kebaikannya. Amin.

Semarang, Agustus 2013

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME | iii |
| MOTTO DAN PERSEMBAHAN | iv |
| ABSTRAK | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR TABEL | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiv |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| A. Latar Belakang | 1 |
| B. Rumusan Masalah..... | 4 |
| C. Batasan Masalah | 5 |
| D. Penegasan Istilah..... | 6 |
| E. Tujuan | 7 |
| F. Manfaat | 8 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 9 |
| A. Landasan Teori | 9 |
| 1. <i>Boiler</i> | 9 |

| | |
|---|-----------|
| 2. Uap..... | 14 |
| 3. Pemanasan Sistem Uap Pada Produksi Tahu..... | 17 |
| 4. Teori Kekuatan Material..... | 18 |
| 5. Metode elemen Hingga..... | 25 |
| 6. Perhitungan <i>Boiler</i> | 28 |
| BAB III METODE PENELITIAN..... | 32 |
| A. Desain Penelitian..... | 32 |
| B. Objek Penelitian..... | 32 |
| C. Peralatan Penelitian..... | 33 |
| D. Metode Pengumpulan Data..... | 33 |
| E. Langkah Pelaksanaan Penelitian..... | 34 |
| F. Teknik Analisis Data..... | 39 |
| BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN..... | 40 |
| A. Desain <i>Boiler</i> | 40 |
| B. Perhitungan Kontruksi <i>Boiler</i> | 41 |
| C. Kontruksi <i>Boiler</i> | 55 |
| D. Analisis Statis Kontruksi <i>Boiler</i> | 57 |
| E. Pembahasan..... | 63 |
| F. Instrumen <i>Boiler</i> Penunjang Rancangan..... | 66 |
| BAB V PENUTUP..... | 72 |
| A. Simpulan..... | 72 |
| B. Saran..... | 74 |

| | |
|-----------------------------|----|
| DAFTAR PUSTAKA | 76 |
| LAMPIRAN | 77 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 3.1. Data Properties Material | 37 |
| Tabel 4.1. Pencarian P dengan $D_0/t = 60$ | 44 |
| Tabel 4.2. Pencarian P dengan $D_0/t = 50$ | 45 |
| Tabel 4.3. Pencarian P dengan $D_0/t = 40$ | 46 |
| Tabel 4.4. <i>Volume, massa dan surface</i> desain <i>boiler</i> | 54 |
| Tabel 4.5. Data Properties Material Carbon Steel SA 285 Grade C | 55 |
| Tabel 4.6. Data Properties Material Seamless Carbon Steel SA 53 Grade B | 55 |
| Tabel 4.7. <i>Load</i> desain <i>boiler</i> | 57 |
| Tabel 4.8. Spesifikasi Bahan kontruksi <i>boiler</i> | 62 |
| Tabel 4.9. Hasil analisis | 63 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1. La Mont <i>Boiler</i> | 12 |
| Gambar 2.2. <i>Loeffler Boiler</i> | 13 |
| Gambar 2.3. <i>Benson Boiler</i> | 13 |
| Gambar 2.4. Grafik Temperatur-Entropi untuk air dan uap..... | 17 |
| Gambar 2.5. Hukum dasar elastik linear Tegangan-Regangan..... | 22 |
| Gambar 2.6. Contoh pola jarak lubang <i>tubesheet</i> yang sama pada setiap baris ... | 31 |
| Gambar 3.1. <i>Boiler</i> pipa api vertikal (<i>Vertical fire tube boiler</i>) | 35 |
| Gambar 3.2. Bagian-bagian <i>boiler</i> pipa api | 36 |
| Gambar 3.3. Instalasi <i>boiler</i> dengan panci perebusan..... | 36 |
| Gambar 3.4. Diagram alir proses analisis dan simulasi struktur <i>boiler</i> menggunakan software CATIA V5 | 38 |
| Gambar 4.1. Ukuran badan <i>boiler</i> | 42 |
| Gambar 4.2. Ukuran pipa api | 44 |
| Gambar 4.3. Ukuran <i>tubesheet</i> | 49 |
| Gambar 4.4. <i>Ligament boiler</i> | 51 |
| Gambar 4.5. Ukuran pipa nosel 1..... | 53 |
| Gambar 4.6. Ukuran pipa nosel 2..... | 54 |
| Gambar 4.7. <i>Vertical firetube boiler</i> | 55 |
| Gambar 4.8. <i>Meshing</i> pada desain <i>boiler</i> | 59 |
| Gambar 4.9. Deformasi pada desain <i>boiler</i> | 60 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.10. <i>Von mises stress</i> pada desain <i>boiler</i> | 61 |
| Gambar 4.11. <i>Displacement</i> pada desain <i>boiler</i> | 62 |
| Gambar 4.12. Manometer / <i>Pressure Gauge</i> | 66 |
| Gambar 4.13. <i>Thermometer</i> | 67 |
| Gambar 4.14. <i>Water Level Gauge</i> | 68 |
| Gambar 4.15. Indikator pengisian air..... | 68 |
| Gambar 4.16. <i>Safety Valve</i> | 69 |
| Gambar 4.17. <i>Main Steam Valve</i> | 69 |
| Gambar 4.18. <i>Blowdown valve</i> | 70 |
| Gambar 4.19. Pemasangan Instrumen <i>Boiler</i> | 70 |
| Gambar 4.20. Instalasi <i>Boiler</i> | 71 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|----|
| Lampiran 1. Perhitungan Beban..... | 78 |
| Lampiran 2. Perhitungan Tekanan Air..... | 81 |
| Lampiran 3. Perhitungan Kebutuhan Bahan Bakar..... | 83 |
| Lampiran 4. Perhitungan Penguapan Awal..... | 85 |
| Lampiran 5. Perhitungan Penggunaan Uap..... | 87 |
| Lampiran 6. Static Analysis CATIA V5..... | 88 |
| Lampiran 7. Gambar Kerja | 97 |

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Proses produksi merupakan jantung dari suatu industri. Industri makanan, industri garmen 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. Banyak para pengusaha tahu yang masih menggunakan alat-alat sederhana dalam memproduksi tahunya. Mereka 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.

Pada beberapa industri tahu sudah menggunakan peralatan produksi penghasil uap. Tetapi peralatan ini dirasa tidak aman. Mesin uap konvensional ini terbuat dari drum yang berfungsi sebagai penangkap uap. Uap atau panas yang dikumpulkan oleh drum tersebut berasal dari kayu yang dibakar. Pada awalnya kayu akan dibakar di dekat drum tersebut. Lalu uap panasnya akan terkumpul dalam drum sebelum akhirnya akan disalurkan melalui pipa-pipa besi ke bak-bak penampungan. Peralatan sederhana ini tentunya boros energi, proses produksi yang lama dan kinerja yang tidak terkontrol. Dalam bidang kesehatan peralatan sederhana ini juga tentunya dapat mengganggu, khususnya pada kesehatan pernafasan. Peralatan ini menghasilkan asap yang menjadi polusi udara di dalam tempat industri.

Salah satu industri tahu yang dapat dikembangkan untuk menggunakan *boiler* pada proses produksinya adalah industri tahu yang berkembang di Kecamatan Bandungan, Kabupaten Semarang yaitu industri pembuatan tahu Serasi. Tahu tersebut mempunyai karakteristik berbeda dengan tahu yang diproduksi dari daerah lain yaitu tanpa bahan pengawet, rasanya lezat, bentuk fisiknya padat dan warnanya

putih. Tahu Serasi telah menjadi icon bagi kota Bandungan. Cara pengolahan tahu Serasi ini hampir sama dengan tahu pada umumnya. Pada tahap pemanasan prosesnya sama dengan dilakukan pada pembuatan tahu biasa. Sehingga sangat cocok industri tahu Serasi ini untuk dapat memanfaatkan *boiler* pada proses produksinya.

Pada proses produksi tahu ini *boiler* memiliki fungsi yang sangat vital. Sama vitalnya dengan instalasi yang bekerja pada mesin *boiler* itu sendiri. *Boiler* menghasilkan uap air yang memiliki tekanan tinggi. Jika terjadi kebocoran akan dapat melukai tenaga operatornya, atau bahkan dapat meledak dan akan merusak lingkungan disekitarnya. Apabila kerusakan tersebut terjadi pada *boiler* maka akan menunda proses produksi sehingga produk yang dihasilkan kualitasnya menurun atau akan rusak.

Oleh karena itu perlu adanya perancangan bangun *boiler* yang sesuai untuk industri tahu. Jenis *boiler* yang dirancang yaitu *boiler* pipa api (*fire tube boiler*). *Boiler* jenis ini banyak dipakai untuk industri pengolahan mulai skala kecil sampai skala menengah (Raharjo dan Karnowo 2008: 180). *Boiler* pipa api ini memiliki konstruksi yang sederhana, mudah perawatannya, murah dan pembuatan yang mudah. *Boiler* direncanakan dalam bentuk tegak (*vertical*) karena tidak memakan tempat, sehingga dapat ditempatkan pada ruangan yang relatif kecil. Kapasitas uap yang dihasilkan 300 kg/jam dalam bentuk uap basah. Skala kapasitas boiler ini cukup mencakup kebutuhan industri kecil seperti industri tahu, industri pengolahan pangan produk buah manisan/asinan, dan sebagainya (Rusnoto 2008:32). Standart

perancangan *boiler* yang digunakan yaitu ASME (*American Society of Mechanical Engineers*), dan disesuaikan dengan kebutuhan untuk proses pemanasan sistem uap pada industri tahu. Jadi rancang bangun *boiler* yang akan dibuat memiliki konstruksi yang aman untuk digunakan pada industri tahu.

Perancangan *boiler* ini menggunakan *software* CATIA V5, yaitu salah satu perangkat lunak atau *software* yang sangat membantu dalam proses penyelesaian desain, simulasi dan analisis. Penggunaan *software* CATIA V5 ini tergolong mudah, mulai dari pemodelan hingga analisis komponen atau konstruksi dapat dilakukan. *Software* CATIA V5 ini digunakan untuk pembuatan design *boiler* 3D dan selanjutnya akan dilakukan analisis statik guna mengetahui kekuatan struktur yang dimiliki *boiler* tersebut.

Dari uraian di atas penulis mencoba untuk mengadakan penelitian dengan judul RANCANG BANGUN *BOILER* UNTUK PROSES PEMANASAN SISTEM UAP PADA INDUSTRI TAHU DENGAN MENGGUNAKAN CATIA V5.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka permasalahan yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah :

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 standart perancangan ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) untuk digunakan pada proses pemanasan sistem uap pada industri tahu?
3. Bagaimana analisis statik pada struktur *boiler* yang akan digunakan untuk pemanasan sistem uap pada industri tahu dengan menggunakan CATIA V5?

C. Batasan Masalah

Didasarkan pada luasnya bahasan tentang *boiler*, maka pembahasan dibatasi pada:

1. *Boiler* yang dirancang adalah *boiler* tipe *Vertical fire tube boiler* menghasilkan uap jenuh pada temperatur $100^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$.
2. Analisis statis *boiler* membahas tentang kekuatan bahan atau material yang digunakan yaitu mengacu pada beban-beban yang bekerja pada badan *boiler* dan temperatur pada saat proses pemanasan.
3. Instrumen *boiler* dibahas disini.
4. Desain dan analisis statis *boiler* menggunakan *software* CATIA V5 sesuai dengan data perhitungan yang dilakukan.

D. Penegasan Istilah

Untuk menghindari terjadinya salah penafsiran istilah kata dalam judul skripsi ini, maka perlu adanya penjelasan istilah-istilah. Diantaranya yaitu:

1. Rancang bangun

Menurut kamus besar Bahasa Indonesia 2005, rancang bangun adalah rencana bangunan atau desain bangunan. Rancang bangun dalam hal ini adalah perencanaan, perancangan, perhitungan teknis material, pembuatan desain gambar dan analisis statis *boiler*.

2. *Boiler*

Boiler merupakan mesin kalor (*thermal engineering*) yang mentransfer energi-energi kimia atau energi otomis menjadi kerja (usaha) (Muin 1988 : 28). *Boiler* berfungsi sebagai pesawat konversi energi yang mengkonversikan energi kimia (potensial) dari bahan bakar menjadi energi panas. *Boiler* adalah alat yang digunakan untuk menghasilkan uap air untuk sumber tenaga atau untuk proses pemanasan (Chattopadhyay 2001:1).

3. Industri tahu

Terdiri dari kata industri dan tahu. Menurut kamus besar Bahasa Indonesia 2005, industri adalah mengolah barang dengan menggunakan sarana dan peralatan, dan tahu adalah makanan yang dibuat dari sari kedelai yang diendapkan dan dicetak. Jadi industri tahu dalam hal ini adalah usaha pengolahan sari kedelai menjadi makanan yang disebut tahu dengan menggunakan sarana dan peralatan tertentu.

4. Pemanasan sistem uap

Sebuah sistem pemanas di mana panas yang ditransfer dari *boiler* atau sumber lain untuk unit pemanas dengan cara uap. Dalam hal ini pemanasan sistem uap digunakan pada proses pembuatan tahu dengan cara, uap yang keluar melalui

pipa yang berada di dinding *boiler* dihubungkan ke dalam bak penampung bubur tahu, sehingga pemasakan tahu dilakukan dengan uap tanpa meninggalkan kerak seperti pemasakan tradisional.

5. CATIA V5

Software CATIA (*Computer Aided Three Dimensional Interactive Application*) adalah alat bantu yang mempunyai banyak fungsi pada CAD, CAM, dan CAE dipadu dengan model analisis rancang bangun yang handal *Integrated Design And Analysis*.

E. Tujuan

Tujuan dari perancangan ini adalah :

1. Merancang 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. Merancang konstruksi *boiler* yang aman sesuai dengan standart perancangan ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) untuk digunakan pada proses pemanasan sistem uap pada industri tahu.
3. Mengetahui desain dan analisis statik *boiler* yang akan digunakan untuk pemanasan sistem uap pada industri tahu dengan menggunakan CATIA V5.

F. Manfaat

Dengan adanya perancangan mengenai *boiler* pada industri tahu untuk pemanasan sistem uap menggunakan CATIA V5 ini dapat diambil manfaatnya antara lain:

1. Memberikan informasi rancang bangun konstruksi *boiler* serta analisis struktur *boiler* yang akan digunakan untuk pemanasan sistem uap pada industri tahu dengan menggunakan CATIA V5.
2. Meningkatkan wawasan dan pengetahuan bagi pembuat *boiler* dan khususnya bagi para pengusaha industri tahu.
3. Memberikan informasi tentang pemanfaatan *boiler* kepada masyarakat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

G. Landasan Teori

1. Boiler

Boiler merupakan mesin kalor (*thermal engineering*) yang mentransfer energi-energi kimia atau energi otomis menjadi kerja (usaha) (Muin 1988 : 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 Askhabulyamin 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).

Kedua komponen tersebut dia atas telah dapat untuk memungkinkan sebuah *boiler* untuk berfungsi.

Boiler pada dasarnya terdiri dari bumbungan (drum) yang tertutup pada ujung pangkalnya dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan 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 tubenya dialiri dengan gas pembakaran dan bagian lainnya yaitu *shell* dialiri air yang akan diuapkan. Tube-tubunya langsung didinginkan oleh air yang melindunginya. Jumlah pass dari *boiler* tergantung dari jumlah laluan horizontal dari gas pembakaran diantara *furnace* dan pipa-pipa api. Laluan gas pembakaran pada *furnace* dihitung sebagai pass pertama. *Boiler* jenis ini banyak dipakai untuk industri pengolahan mulai skala kecil sampai skala menengah (Raharjo dan Karnowo 2008: 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 yang sepertinya.
 - b. *Boiler* mobil (*mobile boiler*), *boiler* pindah atau *portable boiler*.

Boiler mobil, ialah *boiler* yang dipasang pad fundasi yang berpindah-pindah (*mobile*), seperti *boiler* lokomotif, loko mobil 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 didalam (*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 sinous tubuler heating surface*)

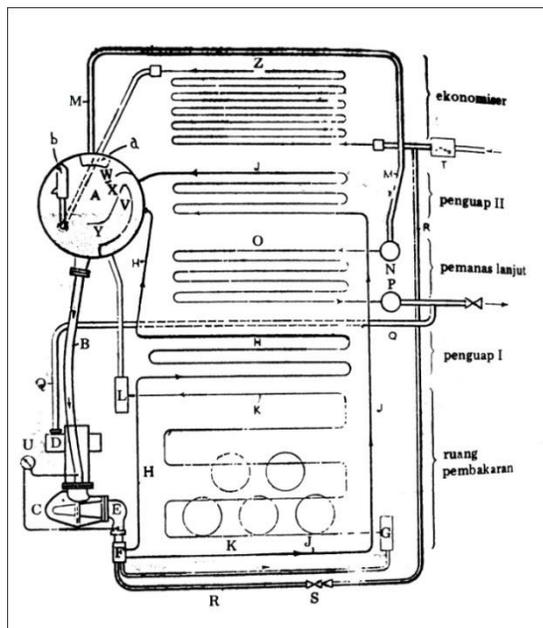
- b. *Boiler* dengan pipa miring-datar dan miring-tegak (*horizontal, inclined or vertical tubuler heating surface*).
7. Menurut sistem peredaran air *boiler* (*water circulaion*), ketel uap diklasifikasikan sebagai:

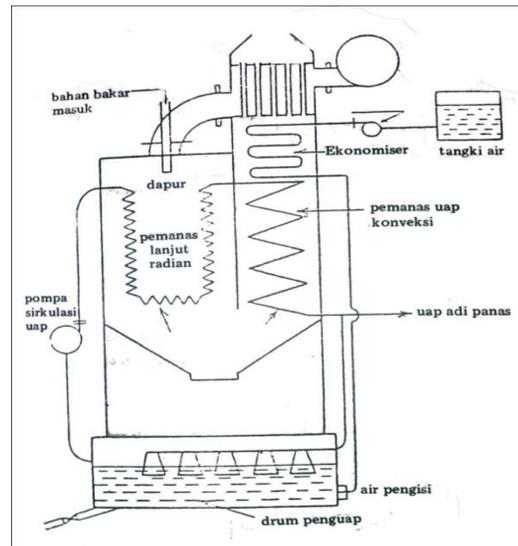
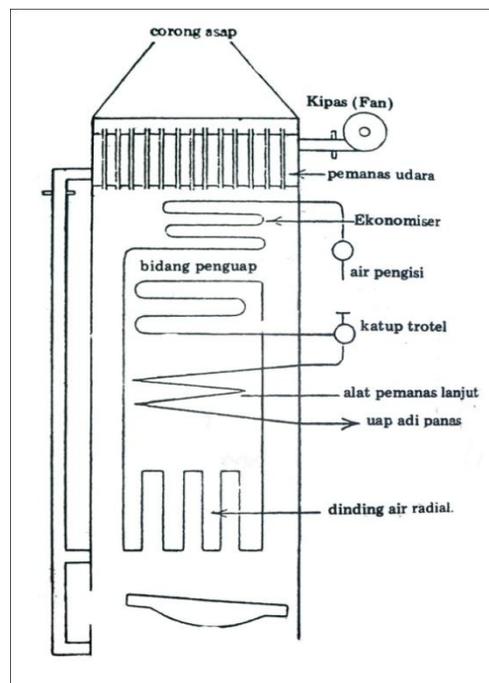
- a. *Boiler* dengan peredaran alam (*natural circulation steam boiler*).

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 sentrifugal 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 yang 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. Uap

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 tiga jenis, yaitu:

1. Uap saturasi basah
 2. Uap saturasi kering
 3. Uap adi panas
- *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 air, maka dikatakan bahwa kadar uap tersebut:

$$X = \frac{m_s}{m_s + m_w}$$

Untuk uap saturasi basah :

$$X < 1$$

- *Sedangkan untuk uap saturasi kering*

$$X = 1$$

Enthalpy uap saturasi:

$$H_{\text{sat}} = H_w + XL \text{ kkal/kg}$$

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

H_a = enthalpy air pada suhu saturasi, kkal/kg

X = kadar uap

L = panas laten, kkal/kg

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

$$H_{sat} = H_a + L \quad \text{kkal/kg}$$

- *Enthalpy uap adi panas*

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

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

Cp = 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 ke titik didih dibawah 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. Atsisi dari diagram menunjukkan entropi dari

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 baku yang yaitu kedelai, air, garam dan bumbu yang lainnya.

Proses pembuatan tahu umumnya terdiri 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 di sebuah bak berbentuk bundar yang dibuat dari semen atau dari logam yang di bagian 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.

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 ke ukuran 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 bias diubah dengan memberikan tegangan-tegangan tekan tanpa kerusakan.
- e. Kekuatan merupakan kemampuan bahan untuk menahan tegangan tanpa kerusakan beberapa bahan seperti baja struktur, besi tempa, aluminium,

dan tembaga, mempunyai kekuatan tarik dan tekan yang hampir sama, sementara kekuatan gesernya adalah kira-kira dua pertiga kekuatan tariknya.

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*).

$$\text{Faktor keamanan } (n) = \frac{\text{Kekuatan sebenarnya}}{\text{Kekuatan yang dibutuhkan}}$$

Faktor keamanan haruslah lebih besar dari pada 1,0 jika harus dihindari kegagalan. Tergantung pada keadaan, maka faktor keamanan yang harganya sedikit di atas 1,0 hingga 10 yang dipergunakan.

Mengikut sertakan faktor keamanan ke dalam disain 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 melampui 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 memboros bahan dan mungkin tidak cocok bagi fungsinya (misalnya menjadi sangat berat).

2) Hubungan Tegangan dan Regangan

Pada dasarnya tegangan dapat didefinisikan sebagai besaran gaya yang bekerja pada suatu satuan luas. Pada suatu bidang yang dikenai 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.

Dengan mengasumsikan bahwa regangan bernilai kecil, maka hubungan regangan-perpindahan dapat dinyatakan sebagai:

$$\epsilon_y = \frac{dv}{dy}$$

ϵ_y = regangan

v adalah deformasi dalam arah y .

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

$$\sigma_y = E_y \epsilon_y$$

σ_y = tegangan dalam arah vertikal

E_y = Modulus elastisitas *Young*

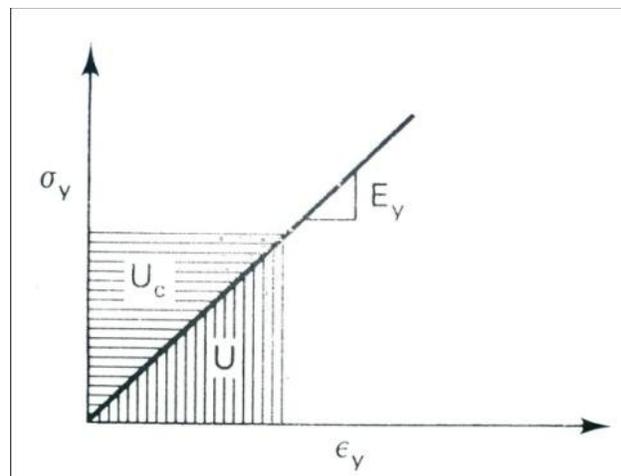
ϵ_y = regangan

Atau dalam notasi matriks,

$$\{\sigma_y\} = [C]\{\epsilon_y\}$$

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

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



Gambar 2.5. 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 elongasi 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 elongasi atau regangan dapat diketahui dengan membagi perubahan panjang yang terjadi akibat penambahan beban dengan panjang mula-mula material.

3) Teori Von Mises

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

$$J_2 = k^2$$

Dimana :

$$J_2 = \frac{1}{6} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]$$

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

$$\sigma_0^2 + \sigma_0^2 = 6k^2$$

$$\sigma_0 = \sqrt{3} k$$

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

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

Dari persamaan ini dapat diduga bahwa luluh akan terjadi bilamana selisih tegangan pada sisi kanan persamaan melampaui tegangan luluh dalam uji tarik uniaksial σ_0 . Untuk mengidentifikasi tetapan k dalam persamaan diatas, perhatikan keadaan tegangan dalam geser murni, seperti dalam uji puntir.

$$\sigma_1 = -\sigma_3 = \tau \quad \sigma_2 = 0$$

Pada luluh

$$\sigma_1^2 + \sigma_1^2 + 4\sigma_1^2 = 6k^2 \quad \sigma_1 = k$$

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:

$$k = \frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_0 = 0,577 \sigma_0$$

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.

5. Metode Elemen Hingga

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 rekitan 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 di kombinasikan 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) Teori Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga atau dapat disebut *Finite Element Metode* (FEM) atau analisis elemen hingga *Finite Element Analysis* (FEA), adalah dasar pemikiran dari suatu bangunan bentuk-bentuk kompleks dengan blok-blok sederhana atau membagi objek yang kompleks kedalam bagian-bagian kecil yang teratur. Karena sifat-sifat setiap elemen dievaluasi secara terpisah, maka adalah suatu keuntungan yang pasti bila kita dapat memasukkan sifat-sifat bahan yang berbeda untuk setiap elemen (Desai 1996:75).

Penggunaan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Analysis*) terdiri dari beberapa analisis:

1. Analisis perancangan adalah perhitungan sederhana serta simulasi komputer.
2. *Finite Element Method* atau *Finite Element Analysis* adalah metode simulasi komputer yang paling banyak diaplikasikan dalam *engineering*.
3. Penggunaan dari aplikasi CAD atau CAM

Aplikasi dari metode elemen hingga dalam *engineering* sebagai berikut:

- a. *Mechanical / Aerospace / Civil / Automobile Engineering*
- b. *Structure analysis (static / dynamic, linear / nonlinear)*
- c. *Thermal / fluid flows*
- d. *Electromagnetics*
- e. *Geomechanics*
- f. *Biomemechanics*

Prosedur analisis dengan menggunakan metode elemen hingga adalah:

- a. Membagi struktur kedalam bagian-bagian kecil (elemen dengan nodes).
- b. Menjelaskan sifat fisik dari tiap-tiap elemen.
- c. Menhubungkan atau merangkai elemen-elemen pada *nodes* untuk membentuk rekaan persamaan sistem dari keseluruhan struktur.
- d. Menyelesaikan persamaan sistem dengan melibatkan kuantitas yang tidak diketahui pada nodal, misalnya pergeseran.
- e. Menghitung kuantitas yang diinginkan (regangan dan tekanan) pada elemen-elemen yang dipilih.

3) Analisis Komputer menggunakan CATIA V5

Kemajuan dibidang komputer saat ini sangat membantu dalam proses penyelesaian analisis, khususnya analisis kekuatan struktur. Saat ini banyak tersedia berbagai jenis perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk

analisisstruktur, salah satunya adalah CATIA yang merupakan produk keluaran dari *Dassault System*. Penggunaan *software* CATIA dapat dipakai untuk analisis komponen baik itu kekuatan struktur dalam beban statis, analisis frekuensi bebas sampai simulasi perancangan dapat dilakukan. Kini banyak perusahaan yang bergerak dibidang industri, khususnya industri otomotif menggunakan *software* CATIA.

6. 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 (*fire tube*), *Flat heads (heating plate)*, *tubesheet*, *ligament* dan nosel-nosel pipa.

1) Badan *Boiler*

Jenis *boiler* yang dipilih dari jenis *boiler* pipa api (*fire tube*). *Boiler* pipa api (*fire tube boiler*) bekerja dengan pipa-pipa api yang berada didalam 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 meterial-meterial dalam merencanakan *boiler* ini disesuaikan dengan kebutuhan. Badan *boiler* bekerja dengan mendapatkan tekanan dari dalam (*Parts under Internal Pressure*), perhitungan dengan rumus:

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$$

$$P = \frac{SEt}{R + 0.6t}$$

(ASME Section IV 2004:3)

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

S = Kekuatan stres 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) Pipa Api (Fire Tube)

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 External Pressure*), sesuai dengan rumus perhitungan berikut ini:

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} + 0.4$$

(ASME Sec. IV Chapter 18 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*) ($E=1$)

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 antar pipa api, dan tekanan perancangan untuk *tubesheet* dengan pipa api yang digunakan dengan pemasangan tetap dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

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

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

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

(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 (7/16inchi)

$C = 2.8$ untuk pipa api pengelasan ketebalan lebih dari 11 mm (7/16inchi)

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

P = Tekanan perancangan (*design pressure*) (Psi)

D = Diameter luar pipa (inchi)

4) Ligament

Ligament adalah jarak plat antar 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:

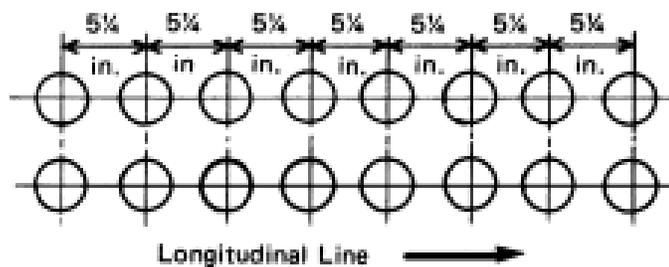
$$E = \frac{p - d}{P}$$

(ASME Section IV 2004:29)

E = Efisiensi *ligament*

p = Jarak antar lubang (Inchi)

d = diameter lubang pipa api (Inchi)



Gambar 2.6. Contoh pola jarak lubang *tubesheet* yang sama pada setiap baris

(ASME Section IV 2004:29)

BAB III

METODE 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).

A. 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 rancang bangun *boiler* pada industri tahu meliputi perancangan konstruksi *boiler* dengan standart ASME (*American Society of Mechanical Engineers*), desain *boiler* pada *software* dan analisis struktur *boiler* sebagai obyek penelitian dengan menekankan pada *displacement* dan *stress* pada konstruksi *boiler* menggunakan *software* CATIA V5.

B. Objek Penelitian

Objek dari penelitian ini adalah desain dan hasil pengujian struktur *boiler* yang kemudian akan diketahui tingkat *displacement* dan *stress*, yang ditunjukkan

dengan distribusi tegangan pada struktur *boiler* yang ditampilkan dalam kontur warna pada geometri struktur *boiler* dan angka-angka yang menunjukkan besarnya tegangan pada tiap-tiap elemen.

C. 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 CATIA V5 sehingga dapat digunakan dalam pemodelan maupun analisis struktur *boiler*.

Laptop yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

| | |
|-------------------------|---|
| <i>Type Prosesor</i> | : Intel(R) Core (TM) i3 CPU M 370 @ 2.40Ghz |
| <i>Memory</i> | : 2048 RAM |
| <i>Direct X Version</i> | : DirectX 11 |
| <i>Display Memory</i> | : 762 Mb Intel (R) HD Grapihics |
| <i>Display mode</i> | : 1366 x 768 (32 bit) (60 hz) |

D. Metode Pengumpulan data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Research and Development* dengan bantuan perangkat lunak (*software*) yang mempunyai kemampuan untuk menganalisis karakteristik statis suatu model. Pengumpulan data yang dilakukan yaitu dengan melakukan dokumentasi dari pengujian desain atau analisis statis desain *boiler* dengan menggunakan *software* CATIA V5. Analisis statis desain *boiler* menunjukkan hasil pembebanan yaitu *displacement* dan *stresses* pada konstruksi *boiler*, selanjutnya akan mendapatkan data rancang bangun *boiler* yang sesuai untuk digunakan pada industri tahu.

E. Langkah Pelaksanaan Penelitian

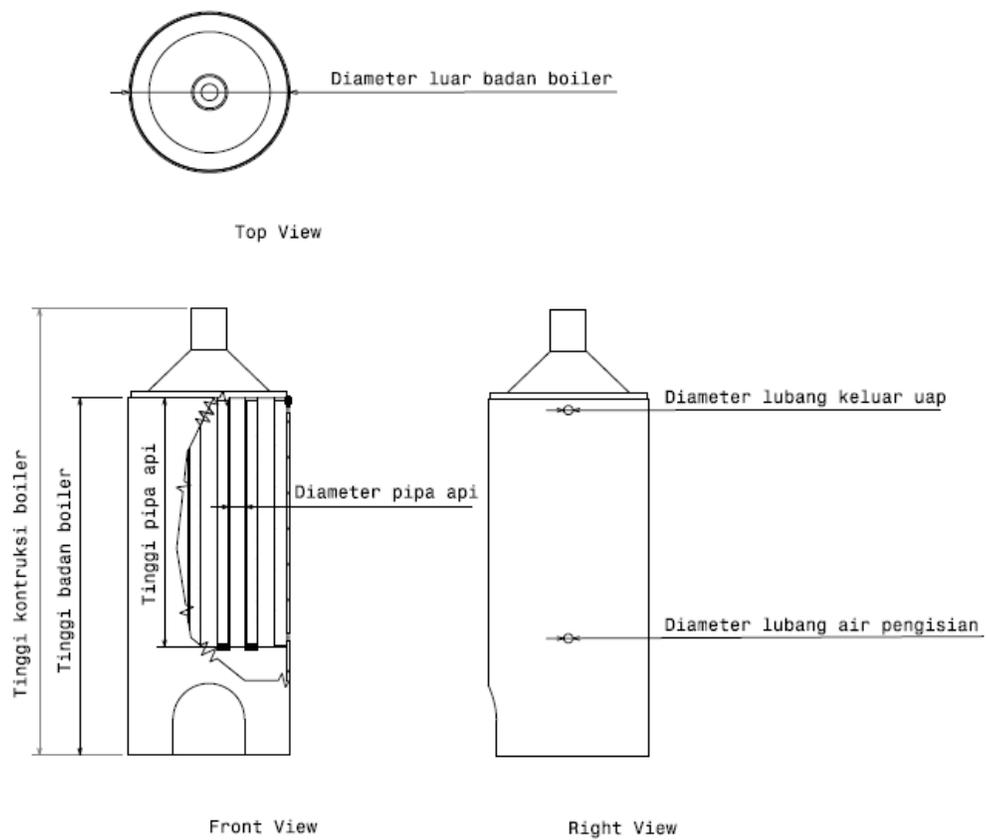
1. Pemodelan

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

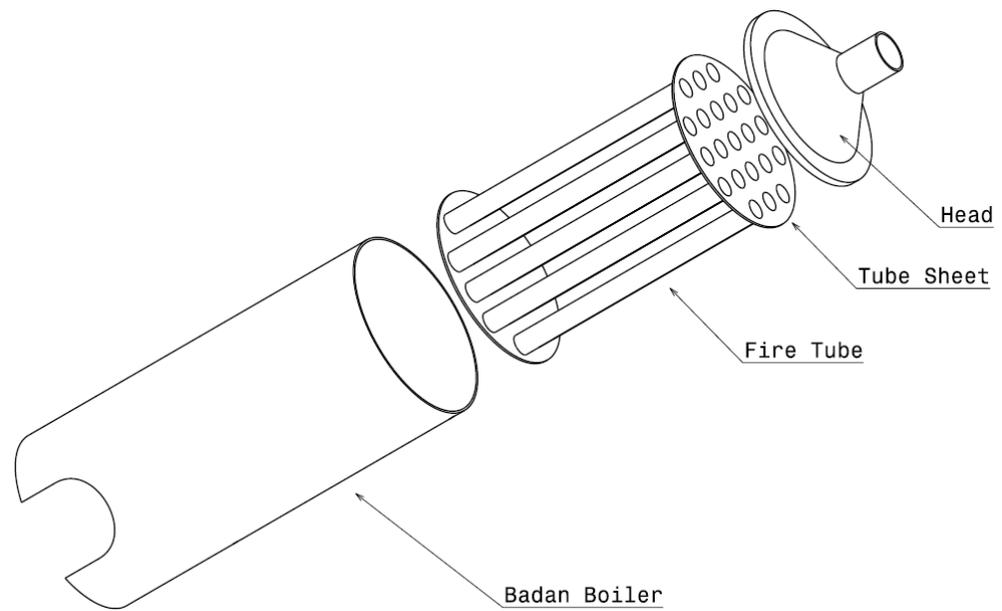
- | | |
|--|------------------------------------|
| a. Tipe <i>boiler</i> | : <i>Vertical fire tube boiler</i> |
| b. Diameter dalam badan boiler | : 750 mm |
| c. Diameter pipa api | : 68 mm |
| d. Tekanan <i>Internal</i> perancangan | : 6 bar |
| e. Jenis hasil uap | : Uap jenuh |
| f. Temperatur operasi | : 100 °C – 150 °C |
| g. Tekanan uap operasi | : 2 bar |

h. Bahan bakar : kayu

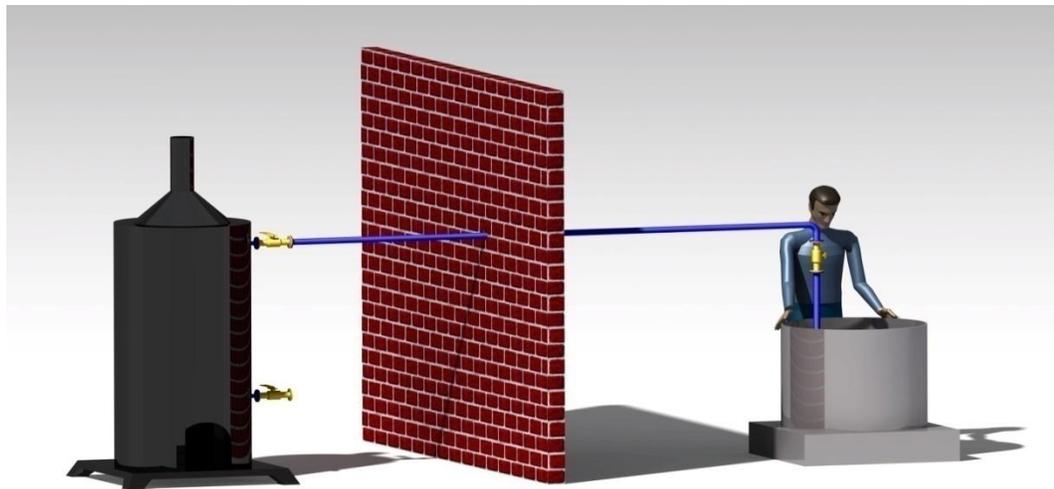
Desain struktur *boiler* dibuat sesuai dengan material-material yang akan digunakan. Desain *boiler* menggunakan standard ASME (*American Society of Mechanical Engineers*).



Gambar 3.1. *Boiler* pipa api vertikal (*Vertical fire tube boiler*)



Gambar 3.2. Bagian-bagian *boiler* pipa api



Gambar 3.3. Instalasi *boiler* dengan panci perebusan

2. Pemasukan data material

Pemasukan data material didalam CATIA V5 dapat diakses melalui *apply material*. Table data material:

Tabel 3.1. Data *Properties Material*

| Material yang digunakan | Modulus Young (Gpa) | Poisson ratio | Density x 1000 kg/m³ | Thermal expansion | Yield strength (Mpa) | Fatigue limit (Mpa) |
|--------------------------------|----------------------------|----------------------|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | | | | | | |

3. Pengasumsian

Asumsi digunakan untuk memudahkan peneliti dalam melakukan analisis.

Adapun beberapa asumsi yang diberikan sebagai berikut:

- a. Material dari desain *boiler* diasumsikan berbeda pada setiap komponen yang digunakan.
- b. Beban (*load*)

Beban yang bekerja pada struktur berupa beban tetap. Beban tetap yaitu beban dengan besar yang konstan dengan kedudukan yang tetap. Beban tetap yang diasumsikan adalah beban maksimal. Beban tetap disini adalah beban dari air pengisian maksimal pada *boiler*.

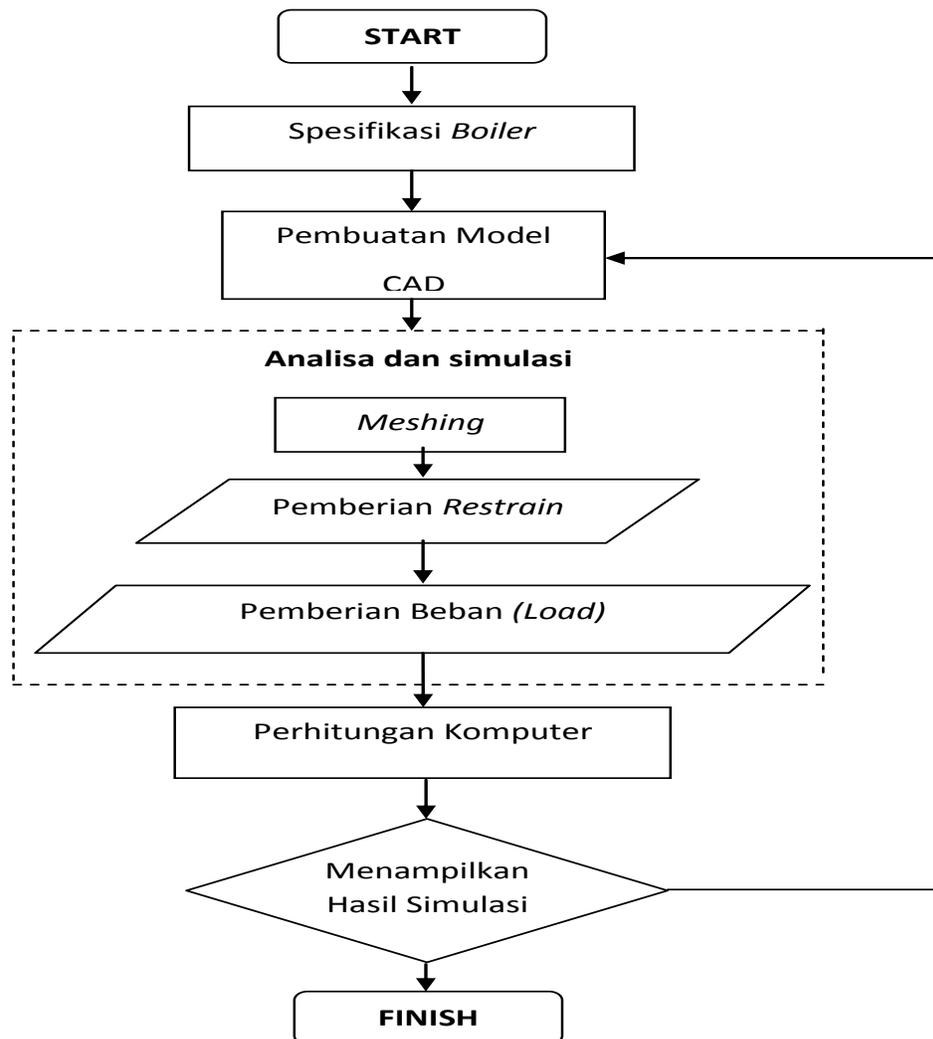
4. Eksekusi Model/komputasi

Eksekusi dijalankan terhadap model yang sudah jadi dan dilengkapi dengan data material serta asumsi-asumsi yang menyertainya. Eksekusi dilakukan dengan pendekatan metode elemen hingga.

5. Dokumentasi

Dokumentasi analisis berupa distribusi tegangan pada struktur *boiler* yang ditampilkan dalam kontur warna pada geometri struktur *boiler* dan angka-angka yang menunjukkan besarnya tegangan pada tiap-tiap elemen.

Lebih jelasnya tahap-tahap proses analisis dan simulasi struktur *boiler* menggunakan software CATIA V5:



Gambar 3.4. Diagram alir proses analisis dan simulasi struktur *boiler* menggunakan software CATIA V5

F. Teknik Analisis Data

Sebagaimana bentuk penelitian ini maka teknik analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif, artinya angka yang di tunjukan sebagai hasil pengukuran dan hasil pengujian komponen dipaparkan dan di deskriptifkan secara jelas dan digunakan sebagai bahan dasar untuk membuat rancangan (Widyatama dkk 2013: 3). Data yang dianalisis adalah data dari analisis statis desain *boiler* dengan menggunakan *software* CATIA V5, yang berupa *displacemement dan stresses*. Bentuk hasil analisis data ini akan menunjukkan kelemahan dan kelebihan dari rancangan yang telah dilakukan. Analisis data yang dilakukan akan mendapatkan rancangan bangun *boiler* yang sesuai dengan standart perancangan ASME dan juga kebutuhan industri tahu, sehingga menjadikan rancangan tersebut dapat diwujudkan dalam bentuk fisik atau siap diproduksi. Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif, yaitu angka-angka yang ditunjukkan pada hasil analisis statis desain *boiler* dipaparkan dan dideskripsikan.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Desain Boiler

Desain *boiler* yang telah didapatkan merupakan hasil dari pengumpulan data dari literatur, survei lapangan dan perhitungan-perhitungan yang telah dilakukan. Spesifikasi perancangan bangun *boiler* didapatkan data sebagai berikut:

- i. Tipe *boiler* : *Vertical fire tube boiler*
- j. Diameter dalam badan *boiler* : 750 mm
- k. Diameter pipa api : 68 mm (jumlah pipa 21 buah)
- l. Tekanan perancangan : 6 bar
- m. Jenis uap : Uap jenuh
- n. Temperatur operasi : 100 °C – 150 °C
- o. Tekanan operasi : 2 bar
- p. Bahan bakar : kayu
- q. Volume air maksimal : 327,23 Liter
- r. Volume ruang uap : 130,9 Liter

Perancangan ini akan memberikan ukuran-ukuran pasti tentang dimensi, penggunaan bahan dan tata letak komponen *boiler* sehingga kebutuhan data untuk melakukan analisis statis akan dapat dilakukan dengan baik, dan nantinya dapat diwujudkan dalam bentuk fisik atau diproduksi.

B. Perhitungan Kontruksi *Boiler*

5) *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:

- $S = \text{Maximum Allowable stress value}$ = 11 ksi = 11000 lb/in²
(ASME *Section IV* 2004: 73)
- $E = \text{Joint coefficient}$ = 85% = 0,85
(ASME *Section IV* 2004: 86)

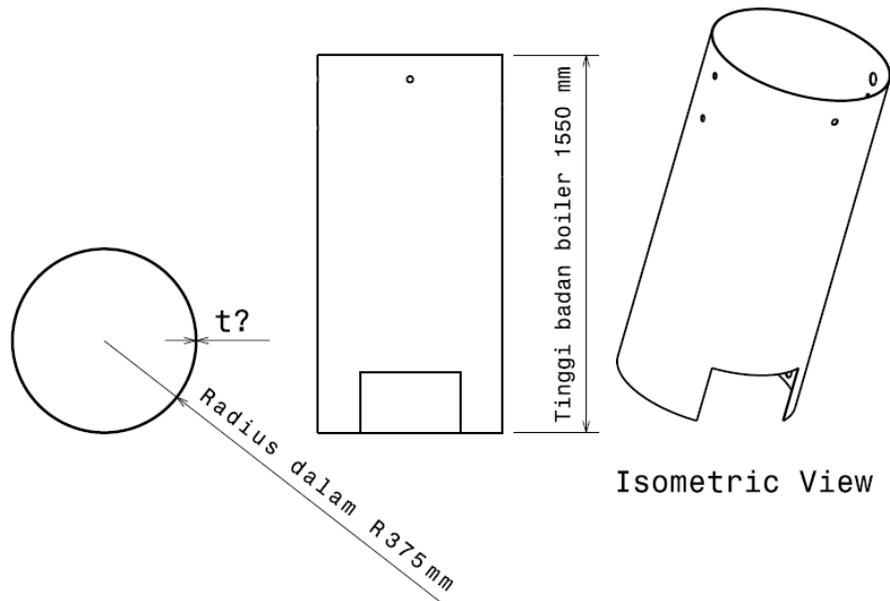
$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$$

(ASME *Section IV* 2004: 3)

- $P = \text{Tekanan perancangan}$ = 6 bar = 87 lb/in²
- $R = \text{Radius dalam badan boiler}$ = 14,75 in (375 mm)
- $D = \text{Diameter dalam badan boiler}$ = 750 mm

Pada ASME *Section IV* variabel 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 1550 mm.



Gambar 4.1. Ukuran badan *boiler*

Ketebalan minimal plat yang diijinkan sebagai berikut :

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$$

$$t = \frac{87 \text{ lb/in}^2 \times 14,75 \text{ in}}{11000 \text{ lb/in}^2 \times 0,85 - 0.6 \times 87 \text{ lb/in}^2}$$

$$t = \frac{1283,25 \text{ lb/in}}{9350 \text{ lb/in}^2 - 52,2 \text{ lb/in}^2}$$

$$t = \frac{1283,25 \text{ lb/in}}{9297,8 \text{ lb/in}^2}$$

$$t = 0,138 \text{ in} = 3,5 \text{ mm}$$

Jadi dengan *Maximum Allowable Working Pressure* (MAWP) 87 lb/in^2 ketebalan plat yang direncanakan sebesar $0,138 \text{ in}$ atau $3,5 \text{ mm}$, dan didapatkan diameter luar badan *boiler* sebesar 757 mm .

6) Pipa Api (*Fire Tube*)

Fire tube yang dirancang harus dapat menahan *Maximum Allowable Working Pressure* (MAWP) sebesar 87 lb/in^2 . Material *fire tube* menggunakan *seamless carbon steel SA 53 Grade B* untuk *boiler* pada *ASME Section IV*. *Firetube* pada *boiler* ini merupakan part yang mendapatkan *external pressure*. Pada perhitungan ketebalan tube direncanakan dengan metode *trial and error* untuk mendapatkan ketebalan yang sesuai, sebagai berikut :

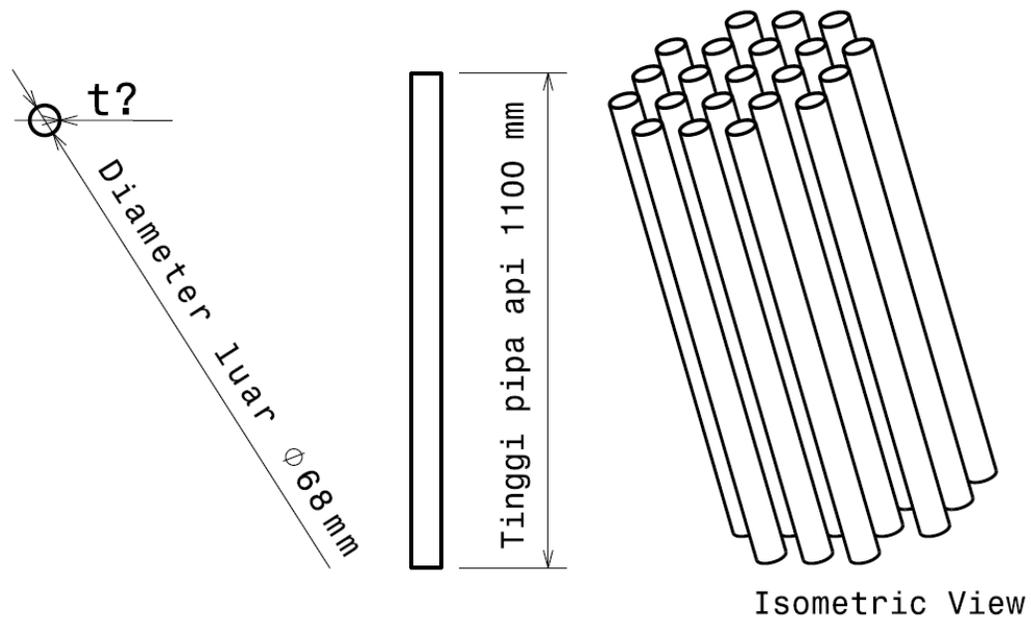
Material SA 53 Grade B didapatkan data sebagai berikut:

- $S = \text{Maximum Allowable stress value}$ = $12 \text{ ksi} = 12000 \text{ lb/in}^2$
 Yield strength = 242 Mpa
 (ASME Section IV 2004: 73)
- $E = \text{Joint coefficient}$ = $85\% = 0,85$
 (ASME Section IV 2004: 86)

Firetube :

- D = Diameter luar *firetube* = $2,67 \text{ in}$ (68 mm)
- L = Panjang *firetube* = $43,3 \text{ in}$ (1100 mm)
- P = Tekanan perancangan = $6 \text{ bar} = 87 \text{ lb/in}^2$
- T = Temperature perancangan = 150°C

Pada ASME *Section IV* variabel tinggi tidak digunakan untuk mencari tebal *firetube*, maka disini peneliti menentukan sendiri tinggi *firetube* sesuai dengan kapasitas tampungan air yang akan dirancang. Tinggi *firetube* yaitu 1100 mm.



Gambar 4.2. Ukuran pipa api

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

Menentukan L/D^0 dan D^0/t

$$\frac{L}{D_0} = \frac{43,3 \text{ in}}{2,67 \text{ in}} = 16,22 \text{ in}$$

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

Dari tabel ASME *Section II Part D* 2010 Table G hal 791 dan ASME *Section II Part D* 2010 Table CS-2 hal 794 didapatkan :

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

| D_0/t | L/D_0 | Faktor A | t ($^{\circ}$ 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 |

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

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

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

Pada ASME *Section IV* 2004, HG-312.3 hal 10

$$P = \frac{4393,19 \text{ lb/in}^2}{60}$$

$$P = 73,22 \text{ lb/in}^2$$

$$P > P_1$$

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

Jadi $D_0/t = 60$ tidak dapat digunakan

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

Dari tabel ASME *Section 2 Part D 2010 Table G* hal 791 dan ASME *Section 2 Part D 2010 Table CS-2* hal 794 didapatkan :

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

| D_0/t | L/D_0 | Faktor A | t ($^{\circ}$ 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 |

Dari tabel 4.2 digunakan untuk mencari nilai P, dengan syarat $P > P_1$

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

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

Pada ASME *Section IV 2004, HG-312.3* hal 10

$$P = \frac{6354,10 \text{ lb/in}^2}{50}$$

$$P = 127,08 \text{ lb/in}^2$$

$P > P_1$

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

Jadi $D_0/t = 50$ dapat digunakan

$$\text{Diasumsikan } \frac{D_0}{t} = 40$$

Dari tabel ASME *Section 2 Part D 2010 Table G* hal 791 dan ASME *Section 2 Part D 2010 Table CS-2* hal 794 Didapatkan :

Tabel 4.3. Pencarian P dengan $D_0/t = 40$

| D_0/t | L/D_0 | Faktor A | t ($^{\circ}$ C) | Faktor A | Faktor B (Mpa) | Faktor B (lb/in 2) |
|---------|---------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| 40 | 8,000 | $7,31 \times 10^{-4}$ | 150 | $3,56 \times 10^{-4}$ | 32,19 | 4668,76 |
| 40 | 14,430 | $6,97 \times 10^{-4}$ | 150 | $6,97 \times 10^{-4}$ | 63,04 | 9143,18 |
| 40 | 16,000 | $6,92 \times 10^{-4}$ | 150 | $9,0 \times 10^{-4}$ | 81,40 | 11806,07 |

Dari tabel 4.3 digunakan untuk mencari nilai P, dengan syarat $P > P_1$

$$\frac{D_0}{t} = 40$$

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

Pada ASME *Section IV 2004, HG-312.3* hal 10

$$P = \frac{9143,18 \text{ lb/in}^2}{40}$$

$$P = 228,58 \text{ lb/in}^2$$

$P > P_1$

$$228,58 \text{ lb/in}^2 > 88 \text{ lb/in}^2$$

Jadi $D_0/t = 40$ dapat digunakan

Berdasarkan perhitungan *trial and error* diatas maka diambil $D_0/t = 50$, karena nilai P lebih mendekati nilai P_1

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

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

$$t = \frac{68 \text{ mm}}{50}$$

$$t = 1,36 \text{ mm}$$

Dari perhitungan didapatkan ketebalan sebesar 1,36 mm, maka ketebalan *tube* yang digunakan adalah 1,4 mm, dengan diameter luar *firetube* adalah 68 mm, sehingga diameter dalam *firetube* adalah 65,2.

7) *Tubesheet*

Tubesheet adalah tempat untuk menopang pipa-pipa api pada *boiler*. *Tubesheet* merupakan bagian yang mendapatkan tekanan yang paling besar. Oleh karena itu *tubesheet* harus dapat menahan *Maximum Allowable Working Pressure* (MAWP) yang direncanakan. 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:

- $S = \text{Maximum Allowable stress value} = 11 \text{ ksi} = 11000 \text{ lb/in}^2$
(ASME Section IV 2004: 73)
- $E = \text{Joint coefficient} = 85\% = 0,85$
(ASME Section IV 2004: 86)

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

(ASME Section IV 2004: 26)

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

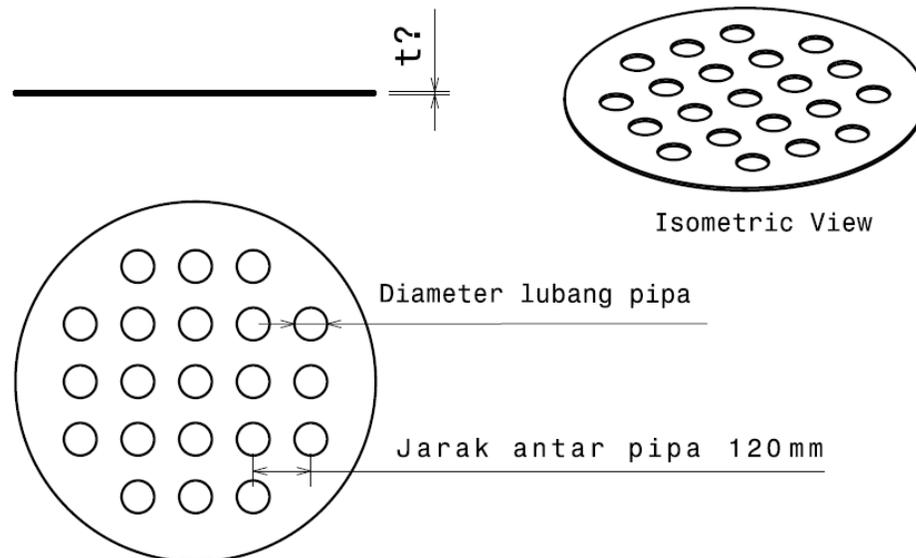
p = Maksimal jarak antar pipa api = 4,724 in (120 mm)

C = - 2.7 untuk pipa api pengelasan ketebalan kurang dari 11 mm (7/16inchi)

- 2.8 untuk pipa api pengelasan ketebalan lebih dari 11 mm (7/16inchi)

(ASME Section IV 2004: 26)

D = Diameter luar pipa = 2,67 in (68 mm)



Gambar 4.3. Ukuran *tubesheet*

Perhitungan ketebalan *tubesheet* dengan *Maximum Allowable Working Pressure*

(MAWP) 88 lb/in² sebagai berikut:

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

$$t = \sqrt{\left(\frac{87 \text{ lb/in}^2}{2,7 \times 11000 \text{ lb/in}^2}\right) \times \left((4,724 \text{ in})^2 - \frac{3,14 \times (2,67 \text{ in})^2}{4}\right)}$$

$$t = \sqrt{\left(\frac{87 \text{ lb/in}^2}{29700 \text{ lb/in}^2}\right) \times \left(22,31 \text{ in}^2 - \frac{22,38 \text{ in}^2}{4}\right)}$$

$$t = \sqrt{0,00292 \times (22,31 \text{ in}^2 - 5,595 \text{ in}^2)}$$

$$t = \sqrt{0,00292 \times 16,715}$$

$$t = \sqrt{0,0488}$$

$$t = 0,22 \text{ in}$$

$$t = 0,22 \text{ in}$$

Hasil perhitungan menunjukkan kebutuhan ketebalan *tubesheet* sebesar 0,22 in (5,62 mm), Untuk memudahkan pada saat proses produksi ketebalan *tubesheet* yang direncanakan diambil 6 mm atau 0,236 in. Maka dengan ketebalan plat 6 mm dan *Maximum Allowable Working Pressure* (MAWP) 87 lb/in² dapat menahan tekanan sebesar :

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

(ASME Section IV 2004: 26)

$$P = \frac{2,7 \times 11000 \text{ lb/in}^2 \times (0,236 \text{ in})^2}{(4,724 \text{ in})^2 - \left(\frac{3,14 \times (2,67 \text{ in})^2}{4}\right)}$$

$$P = \frac{1654,17 \text{ lb}}{22,31 \text{ in}^2 - 5,596 \text{ in}^2}$$

$$P = \frac{1654,17 \text{ lb}}{16,715 \text{ in}^2}$$

$$P = 98,96 \text{ lb/in}^2$$

Jadi ketebalan plat yang direncanakan sebesar 0,236 in atau 6 mm dapat menahan tekanan sebesar 98,96 lb/in².

8) *Ligament*

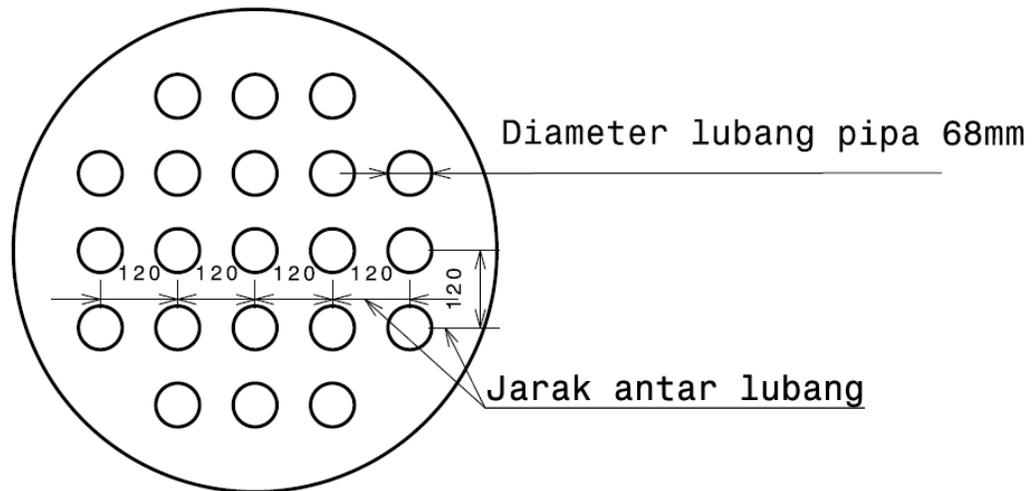
Ligament adalah jarak plat antar lubang pipa api pada *tubesheet*. *Ligament* menggunakan pola jarak yang sama pada setiap baris. Efisiensi *ligament* ditentukan dengan menggunakan rumus:

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

Pada ASME *Section IV* 2004, HG-350.2 hal 29

p = Jarak antar lubang = 4,724 in (120 mm)

d = diameter lubang pipa api = 2,67 in (68 mm)



Gambar 4.4. *Ligament boiler*

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

$$E = \frac{4,724 \text{ in} - 2,67 \text{ in}}{4,724 \text{ in}}$$

$$E = 0,43 = 43\%$$

Jadi efisiensi *ligament* adalah 43%. Seseuai dengan rumus dari ASME efisiensi *ligament* dipengaruhi oleh besarnya diameter pipa dan juga jarak antar pipa api. Pertimbangan perancangan *ligament* pada perancangan ini yaitu dengan diameter pipa yang relatif kecil yaitu 68 mm dan berjumlah 21, maka akan mendapatkan permukaan penghasil panas yang lebih luas sehingga air yang ada disekitar pipa api nanti dapat mendidih lebih cepat.

9) Pipa Nosel

Pipa nosel berfungsi sebagai penopang instrumen *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 instrumen. Material pipa nosel menggunakan *seamless carbon steel SA 53 Grade B* untuk *boiler* ditunjukkan pada ASME *Section IV Table HF-300.1* hal 73.

Material SA 53 Grade B didapatkan data sebagai berikut:

- $S = \text{Maximum Allowable stress value}$ = 12 ksi = 12000 lb/in²
- Yield strength = 242 Mpa

(ASME *Section IV* 2004: 73)

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

(ASME *Section IV* 2004: 86)

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} + 0,04$$

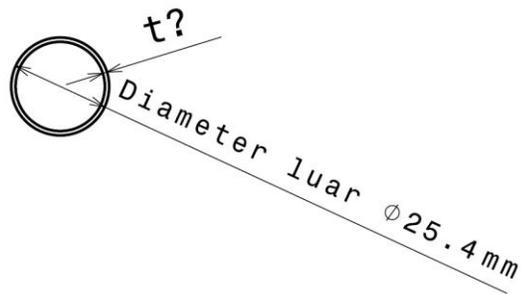
(ASME *Section IV* 2004: 3)

- $P = \text{Tekanan perancangan}$ = 6 bar = 87 lb/in²
- $R_1 = \text{Radius dalam pipa nosel}$ = 0,5 in = 12,7 mm
- $R_2 = \text{Radius dalam pipa nosel}$ = 1 in = 25,4 mm

a. Pipa nosel *safety valve*, *manometer*, *thermometer* dan *water level gauge*

Pipa nosel menggunakan pipa carbon steel dengan ukuran diameter 1 in.

Tebal pipa nosel yang dibutuhkan dengan perhitungan sebagai berikut:



Gambar 4.5. Ukuran pipa nosel 1

$$t = \frac{PR_1}{SE - 0.6P} + 0,04$$

$$t = \frac{87 \text{ lb/in}^2 \times 0,5 \text{ in}}{12.000 \text{ lb/in}^2 \times 0,85 - 0.6 \times 87 \text{ lb/in}^2} + 0,04$$

$$t = \frac{43,5 \text{ lb/in}}{10147,8 \text{ lb/in}^2} + 0,04$$

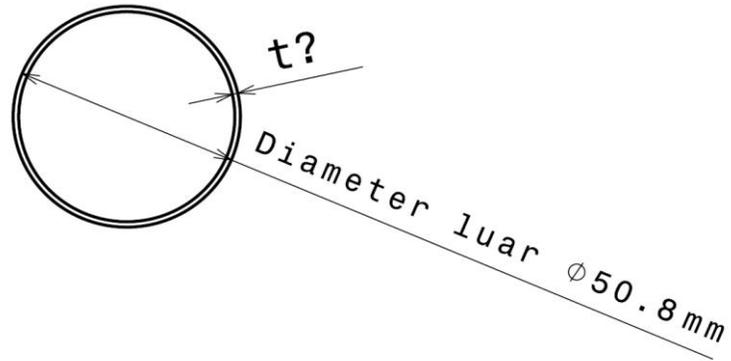
$$t = 0,004 \text{ in} + 0,04$$

$$t = 0,044 \text{ in}$$

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.

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

Pipa nosel menggunakan pipa carbon steel dengan ukuran 2 in. Tebal Pipa nosel yang dibutuhkan dengan perhitungan sebagai berikut:



Gambar 4.6. Ukuran pipa nosel 2

$$t = \frac{PR_2}{SE - 0.6P} + 0,04$$

$$t = \frac{87 \text{ lb/in}^2 \times 1 \text{ in}}{12.000 \text{ lb/in}^2 \times 0,85 - 0.6 \times 87 \text{ lb/in}^2} + 0,04$$

$$t = \frac{87 \text{ lb/in}}{10147,8 \text{ lb/in}^2} + 0,04$$

$$t = 0,009 \text{ in} + 0,04$$

$$t = 0,049 \text{ in}$$

Ketebalan Pipa nosel minimal yang diijinkan yaitu 1 mm (0,04 in). Jadi dari hasil perhitungan yaitu 0,049 in (1,24 mm) memenuhi syarat dan dapat digunakan.

Untuk panjang minimal nosel pada ASME *Section IV* yaitu 1,5 dari tebal nosel, peneliti membuat panjang yang sama untuk nosel 1 dan 2 yaitu sebesar 13 mm.

C. Kontruksi *Boiler*

Rancang bangun *boiler* adalah merancang konstruksi *boiler* sesuai dengan standart perancangan ASME (*American Society of Mechanical Engineers*).

Berikut adalah gambar hasil perancangan tersebut :



Gambar 4.7. *Vertical firetube boiler*

Pembuatan desain *boiler* ini menggunakan software CATIA V5. Kontruksi *boiler* diatas memiliki dimensi dan berat total sebagai berikut :

Tabel 4.4. *Volume, massa dan surface* desain *boiler*

| Struktur | Volume (m³) | Massa (kg) | Surface (m²) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------|--------------------------------|
| <i>Boiler</i> | 0,031 | 239,298 | 21,323 |

Dengan properties material yang digunakan sebagai berikut :

Tabel 4.5. Data Properties Material Carbon Steel SA 285 Grade C

| Material | Properties Value | Sumber |
|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Modulus young | $1,93 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ | ASME <i>Section II</i> 2010: 738 |
| Poisson Ratio | 0,30 | ASME <i>Section II</i> 2010: 744 |
| Density | 7750 Kg/m^3 | ASME <i>Section II</i> 2010: 744 |
| Thermal Expansion | $1,24 \times 10^{-5} \text{ K Deg}$ | ASME <i>Section II</i> 2010: 708 |
| Yield Strength | $1,83 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ | ASME <i>Section II</i> 2010: 536 |

Tabel 4.6. Data Properties Material Seamless Carbon Steel SA 53 Grade B

| Material | Properties Value | Sumber |
|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Modulus young | $1,93 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ | ASME <i>Section II</i> 2010: 738 |
| Poisson Ratio | 0,30 | ASME <i>Section II</i> 2010: 744 |
| Density | 7750 Kg/m^3 | ASME <i>Section II</i> 2010: 744 |
| Thermal Expansion | $1,24 \times 10^{-5} \text{ K Deg}$ | ASME <i>Section II</i> 2010: 708 |
| Yield Strength | $2,14 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ | ASME <i>Section II</i> 2010: 536 |

Semua *properties material* yang diambil merupakan nilai pada temperatur 150°C dalam tabel.

D. Analisis Statis Kontruksi Boiler

Analisis statis penelitian ini dengan menggunakan *Generative Structural Analysis* pada *software* CATIA V5. Data yang diperoleh akan dapat secara mudah untuk diamati, karena semua hasil perhitungan kontruksi *boiler* akan didapatkan berupa file *html*. Data ini didapat berupa angka-angka, gambar dan warna dari hasil analisis statis.

1. Load

Sebelum melakukan pengujian harus diketahui beban, tekanan dan temperatur yang bekerja atau diterima oleh kontruksi *boiler*. Beban inilah yang akan dijadikan sebagai input gaya atau *load* dalam pengujian struktur. Perhitungan pembagian *load* pada rancangan *boiler* dapat dilakukan rancangan *boiler* selesai dibuat, karena dalam *software* CATIA V5 dapat diketahui berat struktur yang dirancang. Setelah mengetahui berat rancangan dari *software* perhitungan baru dapat dilakukan. Perhitungan pembagian *load* pada *boiler* dibagi menjadi tiga yaitu beban air pengisian, tekanan air pengisian dan temperatur maksimal pada air pengisian *boiler*.

a. Beban

Beban yang bekerja pada kontruksi *boiler* adalah beban air pengisian maksimal. Beban air pengisian ditentukan dengan perhitungan (lampiran). Beban yang bekerja pada kontruksi *boiler* adalah 3273 N. Bagian yang mendapatkan beban adalah *tubesheet* bagian bawah, karena sebagai penopang air pengisian.

b. Tekanan

Tekanan yang bekerja pada konstruksi *boiler* yaitu tekanan yang dihasilkan oleh air pengisian. Tekanan ini berhubungan dengan beban air pengisian dan juga luas permukaan yang mendapatkan tekanan. Menentukan nilai tekanan yang akan diberikan pada rancangan konstruksi *boiler* pada saat *boiler* beroperasi dengan melakukan perhitungan (lampiran). Tekanan yang bekerja pada konstruksi *boiler* sebesar $351,7 \text{ N/m}^2$. Bagian yang mendapatkan tekanan adalah permukaan *firetube* dan permukaan dalam dinding *boiler*.

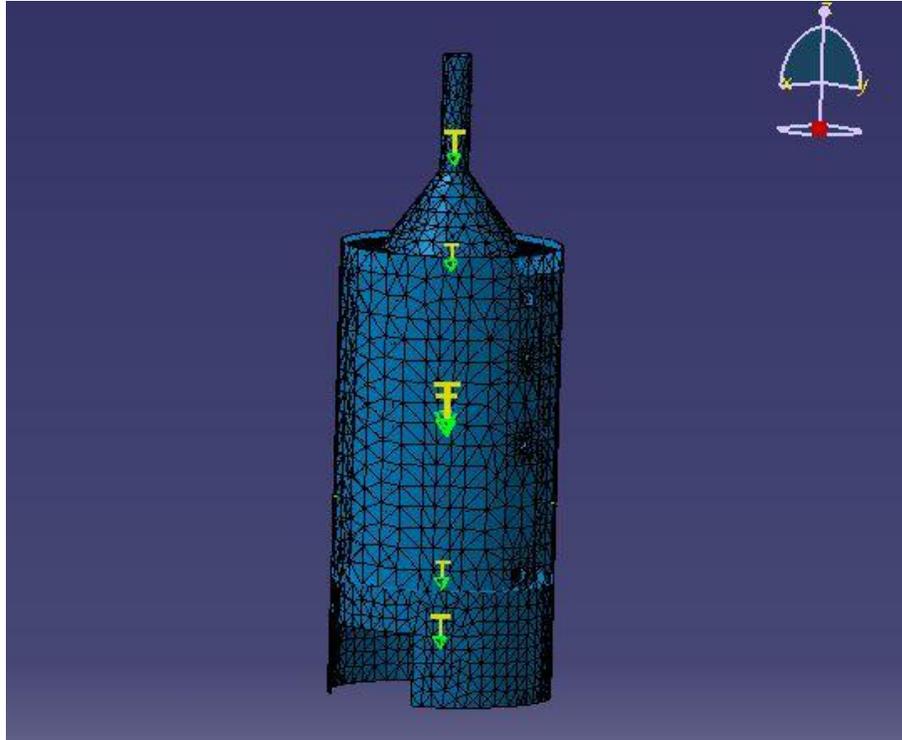
c. Temperatur

Temperatur yang bekerja pada konstruksi *boiler* adalah temperatur maksimal titik didih air yaitu $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($373,15 \text{ }^{\circ}\text{K}$). Pada analisis software CATIA V5 temperatur disesuaikan dengan temperatur ruang yaitu diasumsikan temperatur ruang adalah 30°C maka temperatur yang diberikan pada konstruksi *boiler* adalah 70°C ($343,15^{\circ}\text{K}$) Bagian yang mendapatkan temperatur adalah semua bagian.

Tabel 4.7. Load desain *boiler*

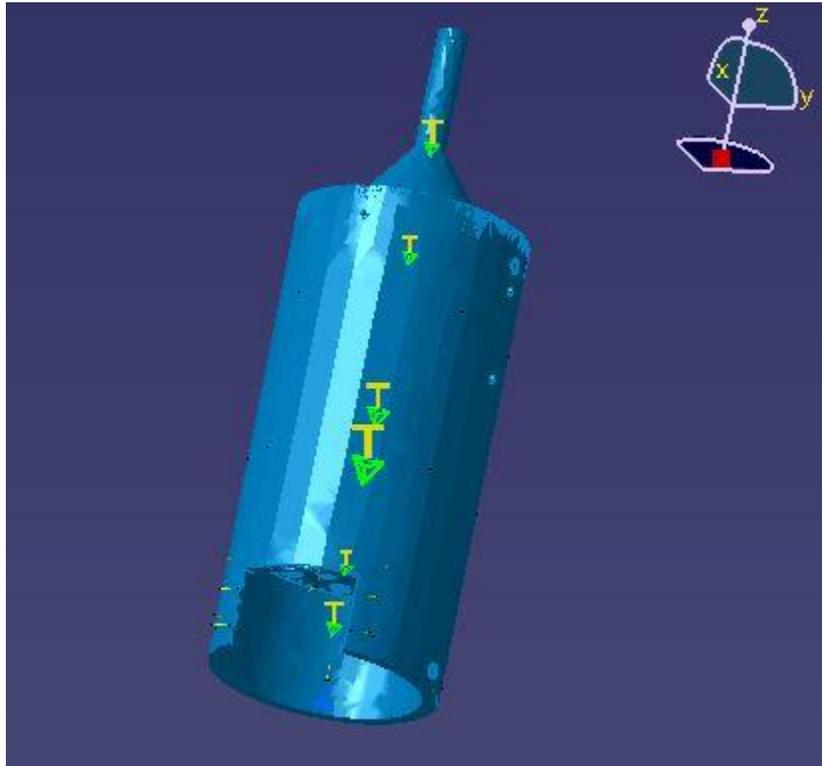
| No | Load | Besar Load | Bagian |
|----|------------|-----------------------------------|--|
| 1. | Beban | 3273 N | <i>Tubesheet</i> bawah, Alas dapur <i>boiler</i> |
| 2. | Tekanan | $351,7 \text{ N/m}^2$ | Permukaan <i>Firetube</i> , permukaan dalam dinding <i>boiler</i> , permukaan dapur <i>boiler</i> |
| 3. | Temperatur | $343,15 \text{ }^{\circ}\text{K}$ | <i>Firetube</i> , badan <i>boiler</i> , <i>tubesheet</i> atas, <i>tubesheet</i> bawah, dapur, cover, nosel |

2. Hasil Analisis Statis Kontruksi *Boiler*



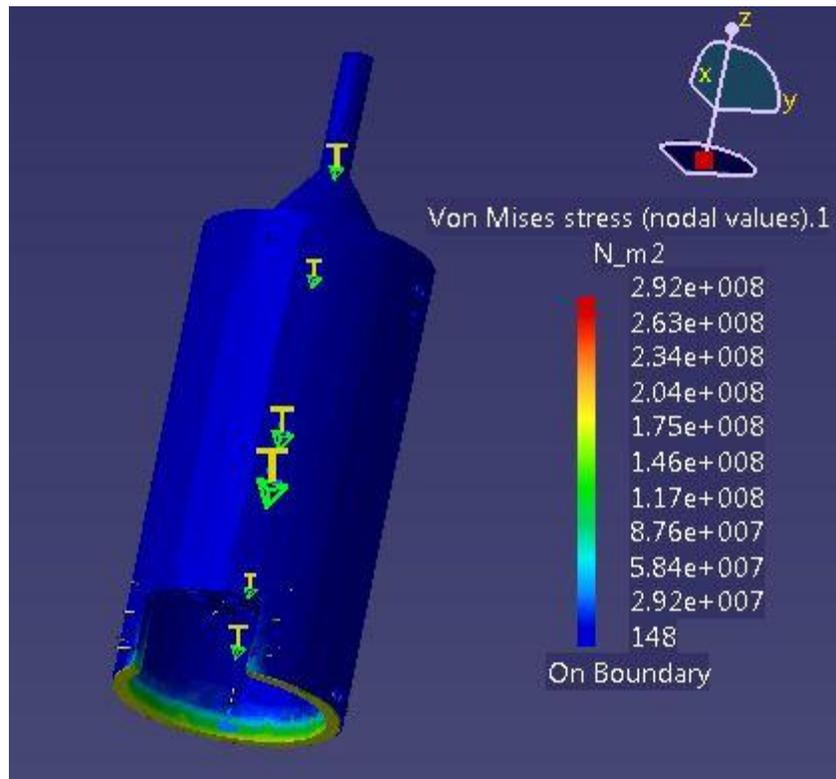
Gambar 4.8. *Meshing* pada desain *boiler*

Proses *meshing* merupakan proses pembacaan setiap elemen pada kontruksi yang sedang mengalami pengujian struktur. Besar kecilnya pembagian pembacaan struktur dalam proses *meshing* sangat menentukan kecepatan proses pengujian dan akurasi hasil pengujian. Semakin kecil *meshing* yang diterapkan semakin baik, tetapi akan memakan waktu proses pengujian yang lebih lama, demikian juga sebaliknya. Dalam proses pengujian kontruksi *boiler* ini *mesh* yang digunakan berbeda pada setiap part, dan *element type* yang digunakan adalah *parabolic*.



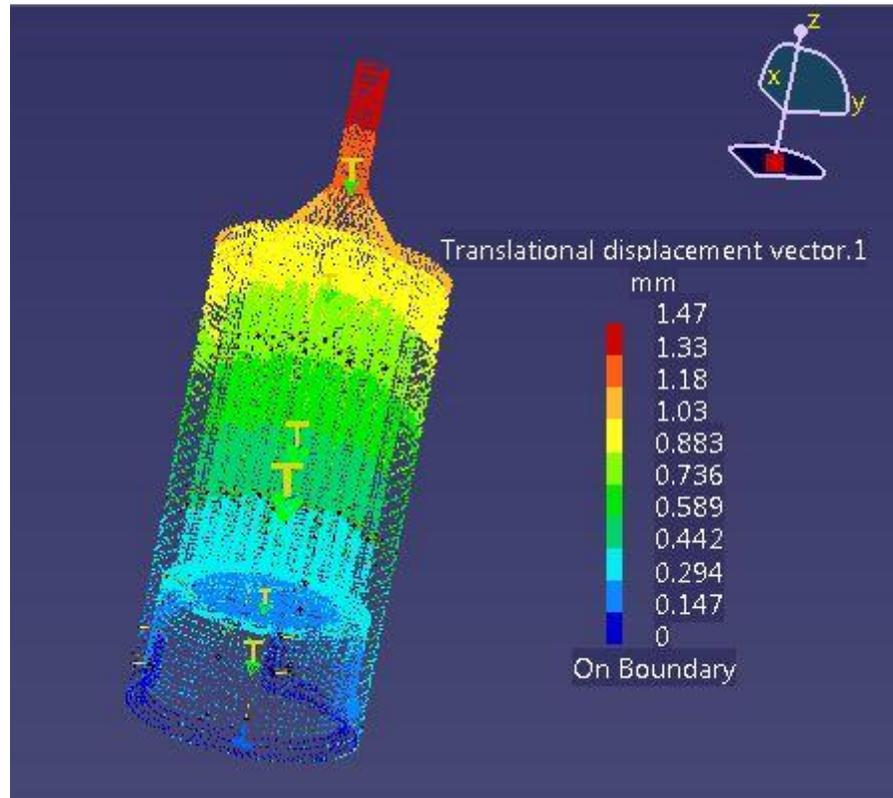
Gambar 4.9. Deformasi pada desain *boiler*

Gambar diatas menunjukkan perubahan bentuk kontruksi *boiler* setelah mendapatkan *load*. Perubahan bentuk atau deformasi terbentuk sesuai dengan *mesh* yang telah diterapkan.



Gambar 4.10. *Von mises stress* pada desain *boiler*

Gambar di atas menunjukkan arah perambatan tegangan pada konstruksi *boiler* yang dapat dilihat dengan adanya perbedaan warna pada gambar. Pada gambar diatas terdapat perbedaan warna dari biru sampai merah. Dan bagian yang berwarna biru adalah bagian yang mengalami tegangan terkecil kemudian menjadi hijau dan kuning sampai berwarna merah yang artinya bagian tersebut mengalami tegangan yang terbesar yaitu nilainya ditunjukkan pada diagram warna pada gambar. Tegangan *von mises* yang terjadi pada pengujian *boiler* adalah $2,92 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ seperti yang terlihat pada gambar di atas.



Gambar 4.11. *Displacement* pada desain *boiler*

Displacement pada pengujian ini adalah pergerakan atau pergeseran bentuk bahan setelah mendapatkan pembebanan. Data yang didapat adalah nilai *displacement* maksimal yang ditunjukkan pada bagian yang berwarna merah. *Displacement* yang terjadi pada konstruksi *boiler* adalah 1,47 mm, yang ditunjukkan dengan pembagian warna pada bagian-bagian *boiler* dari warna biru sampai berubah menjadi merah. Bagian yang masih berwarna biru adalah bagian yang paling sedikit mengalami *displacement* dan bagian yang berwarna merah adalah yang paling banyak mengalami *displacement*.

E. Pembahasan

Dari hasil uji yang telah dilakukan didapatkan pertimbangan-pertimbangan sebagai alasan bahwa desain konstruksi *boiler* yang telah dibuat aman untuk digunakan. Adapun pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:

1. Kontruksi desain

Dilihat dari segi kontruksi, bahwa desain *boiler* memiliki kontruksi yang sederhana. Hal ini berpengaruh pada proses pembuatan yaitu jika kontruksi lebih rumit maka proses pembuatan *boiler* relatif lebih sulit serta membutuhkan waktu yang cukup lama. Tetapi jika kontruksi yang sederhana maka pembuatan *boiler* akan relatif lebih mudah serta waktu pengerjaan lebih cepat. Adapun spesifikasi bahan yang digunakan dalam proses pembuatan kontruksi *vertical firetube boiler* adalah sebagai berikut :

Tabel 4.8. Spesifikasi Bahan kontruksi *boiler*

| No | Bagian | Jenis Bahan | Ukuran | |
|----|--|------------------------|----------------------|------------------|
| | | | Diameter mm (in) | Tebal mm (in) |
| 1. | Badan <i>Boiler</i> | Plat SA 285 Grade C | 750 (29,5) Inside | 3,5 (0,1388) |
| 2. | <i>Tubesheet</i> | Plat SA 285 Grade C | 750 (29,5) | 6 (0,24) |
| 3. | <i>Firetube</i> / pipa api | Pipa SA 53 Grade B | 76,2 (3) Outside | 1,52 (0,06) |
| 4. | Nozel (Main steam, Blow down) | Pipa SA 53 Grade B | 50,8 (2) Outside | 1,25 (0,049) |
| 5. | Nozel (Safety valve, Manometer, Thermometer, Water level) | Pipa SA 53 Grade B | 25,4 (1) Outside | 1,12 (0,044) |

| | | | | |
|----|-------|------------------------|--------------------------|----------|
| 6. | Dapur | Plat SA 285 Grade C | 750 (29,5) Inside | 5 (0,19) |
| 7. | Cover | Plat SA 285 Grade C | 750 (29,5) Inside max | 5 (0,19) |

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa spesifikasi bahan kontruksi desain *vertical firetube boiler* adalah sederhana, tapi dalam pengoperasiannya nanti akan tetap aman karena telah sesuai dengan standart perancangan *boiler* yaitu ASME (*American Society of Mechanical Engineers*).

2. Tinjauan Analisis Tegangan

Setelah dilakukan analisis menggunakan software CATIA V5, maka dapat diketahui bahwa tegangan maksimal pada struktur setelah diberikan *load*.

Tabel 4.9. Hasil analisis

| Karakteristik | Hasil Analisis |
|------------------------|----------------------------------|
| Tegangan Von mises Max | $2,92 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ |
| Tegangan Von mises Min | 198 N/m^2 |
| Displacement Max | 1,47 mm |
| Displacement Min | 0 mm |

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa tegangan maksimal pada desain *boiler* adalah sebesar $2,92 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. Tegangan maksimal ini masih dibawah dari tegangan yang diijinkan sesuai material yang digunakan, yaitu tegangan maksimal (*tensile strength*) material SA 53 Grade B sebesar $4,15 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ (ASME *Section II* 2010: 536).

Disamping itu faktor yang perlu diperhatikan dalam desain konstruksi adalah faktor keamanan, sesuai dengan tujuan penelitian yaitu menghasilkan konstruksi *boiler* yang aman sesuai dengan standart perancangan ASME (*American Society of Mechanical Engineers*). Material-material yang digunakan juga merupakan standarisasi dari ASME. Keamanan suatu desain dapat ditunjukkan dengan suatu nilai yang disebut faktor keamanan atau *safety factor*.

Untuk mengetahui angka keamanan sebuah konstruksi yaitu jika suatu bagian sudah direncanakan, bentuk konstruksi, beban serta kekuatannya sudah diketahui, maka faktor keamanan dapat dihitung untuk mengevaluasi keamanan dari desain yang telah ditebukan tersebut. Persamaan yang dipakai adalah sebagai berikut:

$$n = \frac{S}{\sigma}$$

Keterangan :

n = Angka keamanan

S = *Strength* (Kekuatan) (N/m^2)

σ = Tegangan (N/m^2)

Analisis menggunakan software CATIA V5 menunjukkan bahwa tegangan maksimal untuk desain *boiler* adalah $2,92 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, maka besar angka keamanan pada desain *boiler* adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{S}{\sigma} \\
 &= \frac{4,15 \times 10^8 \text{ N/m}^2}{2,92 \times 10^8 \text{ N/m}^2} \\
 &= 1,42
 \end{aligned}$$

Angka keamanan pada desain *boiler* dengan tegangan maksimal adalah 1,42. Variabel yang digunakan untuk mewakili *strength* adalah *tensile strength*. Pada formula atau rumus-rumus perancangan ASME sebelumnya telah ditentukan standar keamanan pada *joint coefficient* yaitu sebesar 85%. Sehingga dari data tersebut maka konstruksi *boiler* dapat dikatakan aman.

F. Instrumen *Boiler* Penunjang Rancangan

1. Manometer/*Pressure gauge*



Gambar 4.12. Manometer /*Pressure Gauge*

Manometer yang digunakan adalah jenis bourdon. Manometer berfungsi sebagai alat untuk menunjukkan besarnya tekanan uap didalam *boiler*. Pada pemasangan manometer ini digunakan pipa angsa (*symphon pipe*) untuk

menghindari kesalahan pengukuran karena tekanan dan temperatur tinggi yang 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 150°C .



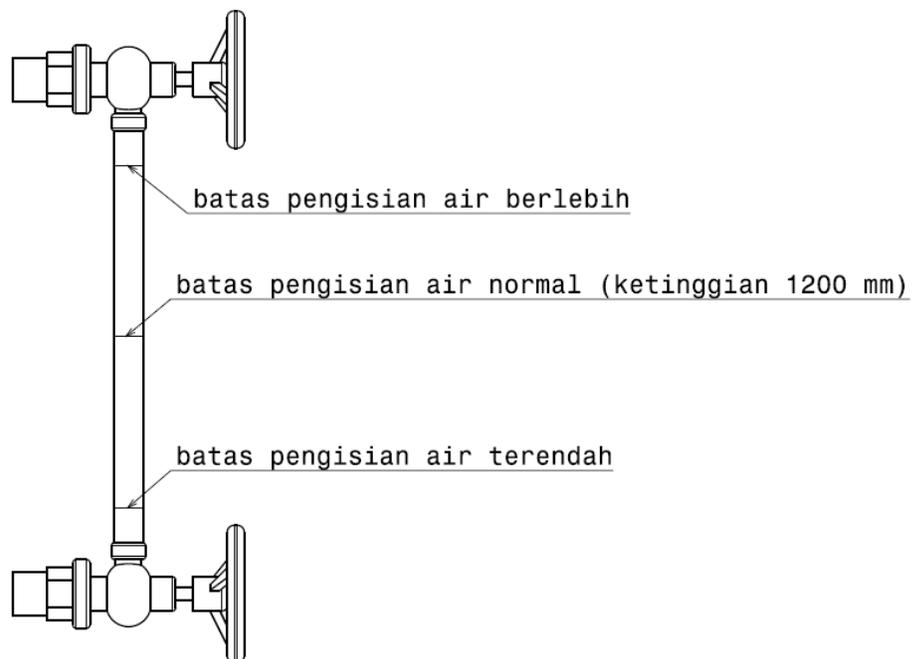
Gambar 4.13. *Thermometer*

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 standart 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.



Gambar 4.14. *Water Level Gauge*



Gambar 4.15. Indikator pengisian air

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. Jenis *safety valve* yang dapat digunakan yaitu tipe pegas diaman nut yang berada pada bagian atas dari katub pengaman disekrup kencang atau longgar agar dapat dilalui oleh uap pada tekanan kerja *boiler* tertinggi yang telah ditentukan.



Gambar 4.16. *Safety Valve*

5. *Main steam valve*

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



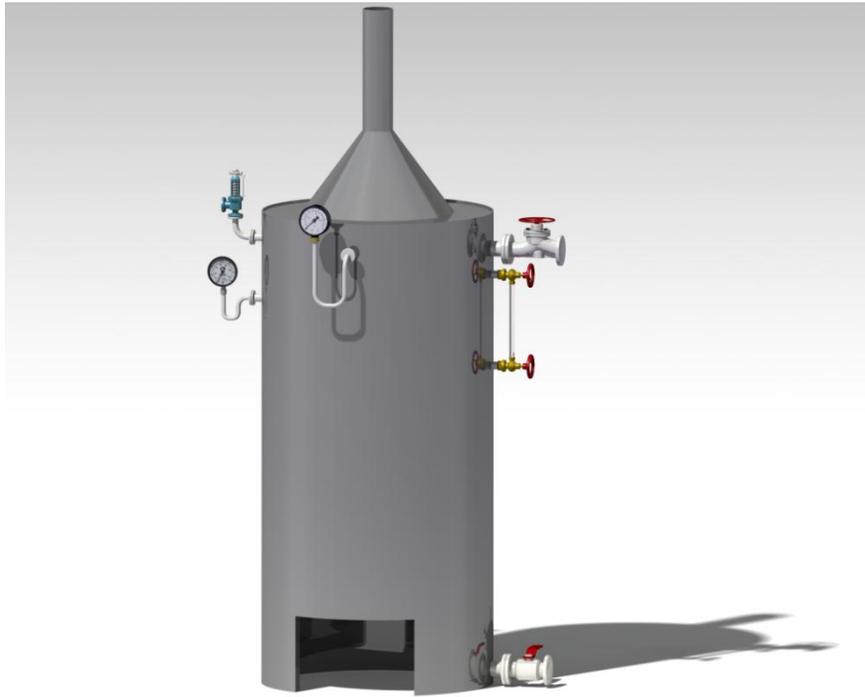
Gambar 4.17. *Main Steam Valve*

6. *Blowdown Valve*

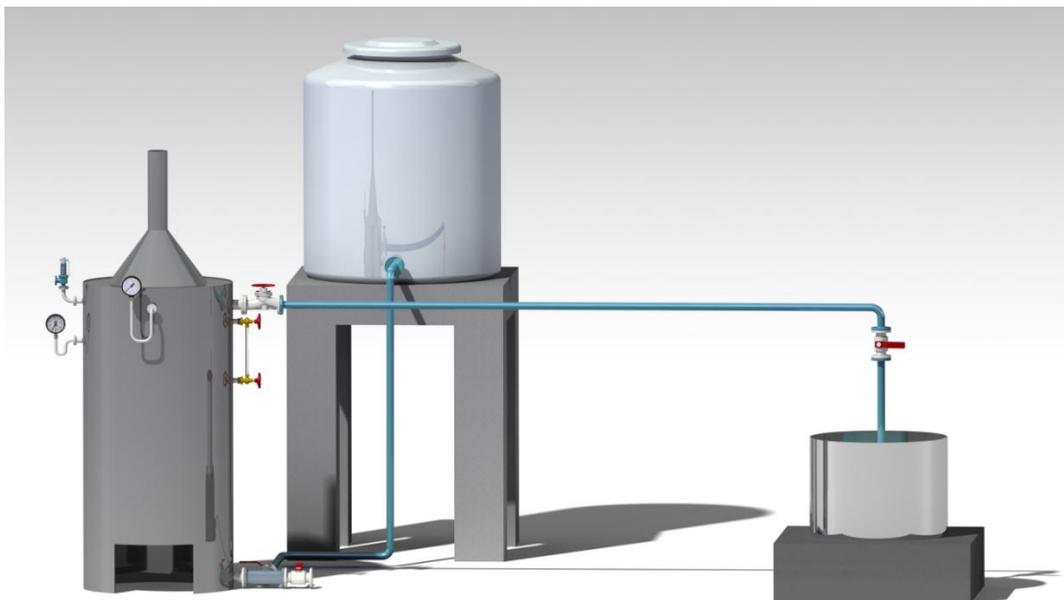
Berfungsi untuk membuang air maupun kotoran yang ada di dalam *boiler*. Air dalam *boiler* akan menjadi kondensat dan di dalamnya juga terdapat padatan-padatan dan dapat menjadi kerak. *Blowdown valve* ini juga digunakan untuk memasukkan air pengisian.



Gambar 4.18. *Blowdown valve*



Gambar 4.19. Pemasangan Instrumen *Boiler*



Gambar 4.20. Instalasi *Boiler*

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil perhitungan standart ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) dan analisis struktur pada kontruksi *boiler* menggunakan *software* CATIA V5 maka dapat diambil simpulan sebagai berikut :

1. Hasil perancangan kontruksi *boiler* jenis *Vertical fire tube boiler* dengan spesifikasi sebagai berikut :
 - s. Jenis uap : Uap jenuh
 - t. Temperatur operasi : $100^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$
 - u. Tekanan *Internal* : 6 bar
 - v. Tekanan operasi : 2 bar
 - w. Bahan bakar : kayu
 - x. Volume air maksimal : 327,3 Liter
 - y. Massa *boiler* : 239,298 Kg
 - z. Dimensi *boiler*
 1. Diameter *boiler* : 757 mm
 2. Tinggi *boiler* : 2220 mm
 3. Diameter *firetube* : 68 mm
 4. Jumlah *firetube* : 21

2. Hasil perhitungan konstruksi *boiler* dengan standart perancangan ASME didapatkan data sebagai berikut :

- a. Badan *boiler* : Ø 750 mm, tinggi 1550 mm, tebal 3,5 mm
bahan plat SA 285 *Grade C*
- b. *Firetube* (pipa api) : Ø 68 mm, tinggi 1100 mm, tebal 1,4 mm
bahan pipa SA 53 *Grade B*
- c. *Tubesheet* atas : Ø 750 mm, tebal 6 mm bahan plat SA 285
Grade C
- d. *Tubesheet* bawah : Ø 670 mm, tebal 6 mm bahan plat SA 285
Grade C
- e. Pipa nosel *mainsteam* : Ø 50,8 mm, tinggi 13 mm, tebal 1,24 mm
bahan pipa SA 53 *Grade B*
- f. Pipa nosel *blowdown* : Ø 50,8 mm, tinggi 13 mm, tebal 1,24 mm
bahan pipa SA 53 *Grade B*
- g. Pipa nosel *waterlevel* : Ø 25,4 mm, tinggi 13 mm, tebal 1,1 mm
bahan pipa SA 53 *Grade B*
- h. Pipa nosel *safety valve* : Ø 25,4 mm, tinggi 13 mm, tebal 1,1 mm
bahan pipa SA 53 *Grade B*
- i. Pipa nosel *thermometer* : Ø 25,4 mm, tinggi 13 mm, tebal 1,1 mm
bahan pipa SA 53 *Grade B*
- j. Pipa nosel *manometer* : Ø 25,4 mm, tinggi 13 mm, tebal 1,1 mm
bahan pipa SA 53 *Grade B*

- k. Efisiensi *ligament* : 43%
- l. *Joint Coefficient* : 85 % (*Double welding*)

Dari data diatas maka kontruksi *boiler* aman untuk digunakan pada industri tahu.

3. Hasil analisis statis kontruksi *boiler* menggunakan *software* CATIA V5 didapatkan data sebagai berikut :

- a. Tegangan *Von mises* maksimal : $2,92 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
- b. Tegangan *Von mises* minimal : 198 N/m^2
- c. *Displacement* maksimal : 1,47 mm
- d. *Displacement* minimal : 0 mm
- e. *Safety factor value* : 1,42

B. Saran

1. Kontruksi *boiler* yang sudah dirancang telah memenuhi 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.
3. *Software* CATIA V5 sangat membantu dalam proses desain dan juga analisis statis dalam penelitian ini. Dengan berbagai kelebihan untuk digunakan pada

proses desain maupun perancangan, maka disarankan agar *software* CATIA V5 tidak hanya di kenalkan kepada mahasiswa tetapi juga dapat digunakan dalam praktik dalam perkuliahan.

DAFTAR PUSTAKA

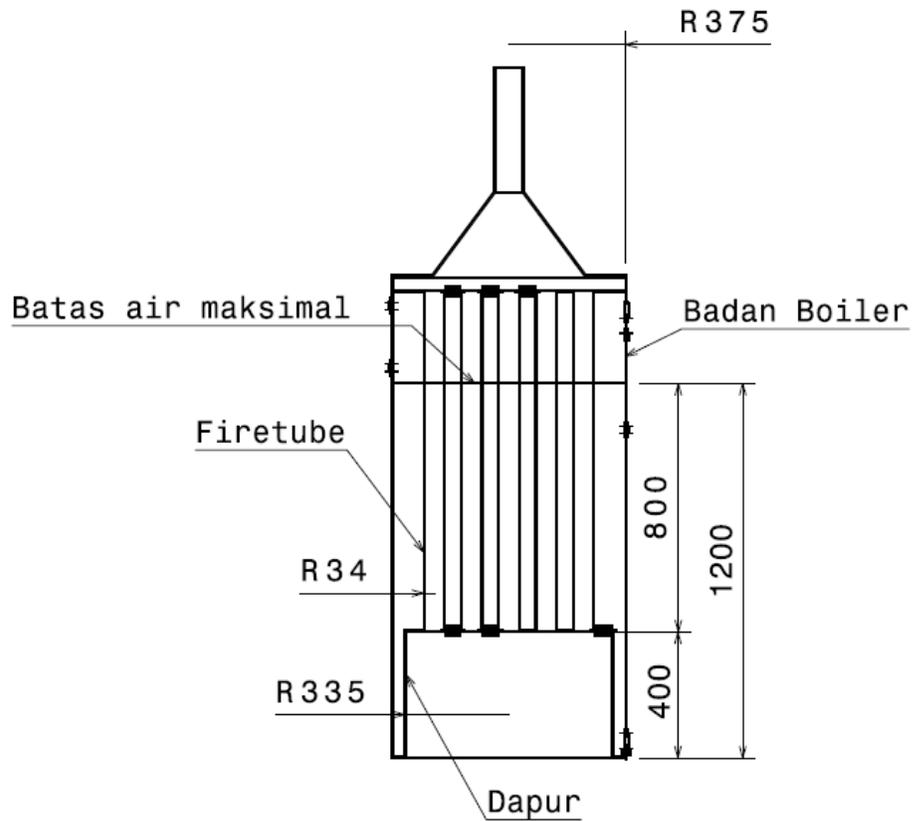
- ASME. 2004. *Boiler & Pressure Vessel Code IV, Rules For Contruction fo Heating Boiler*. New York : Three Park Avenue
- ASME. 2008. *ASME Section IV: Rules For The Contruction Of Heating Boilers, Chapter 18*.
- ASME. 2010. *Boiler & Pressure Vessel Code II, Properties (Metric) Materials*. New York : Three Park Avenue
- Desai C. S. 1996. *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga*. Translated by Wirjosoedirdjo S. J. 1979. Jakarta : Penerbit Erlangga
- Muin, Syamsir A. 1988. *Pesawat-Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)*. Jakarta: Rajawali Pers.
- Rusnoto. 2008. *Perencanaan Ketel Uap Tekanan 6 Atm dengan Bahan Bakar Kayu untuk Industri Sederhana*. Oseatek, Edisi 4. Hal 32-35
- Raharjo W. D dan Karnowo. 2008. *Mesin Konversi Energi*. Semarang : Universitas Negeri Semarang Press
- Chattopadhyay P. 2001. *Boiler Operation Engineering Questions and Answers (Second Edition)*. New Delhi : Tata McGraw-Hill
- Sugiono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif Dan R & D*. Bandung : Alfabeta
- Singer F.L dan A. Pytel. 1985. *Kekuatan Bahan (Teori Kokoh – Strenght of Materials)*. Jakarta : Erlangga
- Weaver W dan P.R Johnston. 1993. *Elemen Hingga untuk Analisis Struktur*. Bandung : PT Eresco
- Widyatama Monelis, Pramono dan Dony Hidayat Al-Janah. 2013. *Perancangan Rear Part Mobil Listrik Menggunakan Software 3D Siemens NX8*. Automotive Science and Education Journal, Volume 2 No. 1. Hal: 1-9
- Yohana E dan Askhabulyamin. 2009. *Perhitungan Efisiensi Dan Konversi Dari Bahan Bakar Solar Ke Gas Pada Boiler Ebara HKL 1800 KA*. Rotasi, Volume 11 No. 3. Hal: 13-16

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

.....2005. *Kamus Besar Bahasa Indonesia (Edisi Ketiga)*. Jakarta: Balai Pustaka

LAMPIRAN 1**PERHITUNGAN BEBAN**

| | | |
|------------|---|--------------------------|
| ρ air | = Densitas | = 1000 kg/m ³ |
| r_b | = Radius badan <i>boiler</i> | = 375 mm = 0,375 m |
| r_t | = Radius firetube | = 34 mm = 0,034 m |
| r_d | = Radius dapur | = 335 mm = 0,335 m |
| L_b | = Luas alas badan <i>boiler</i> | |
| L_t | = Luas alas firetube | |
| t_{ta} | = Tinggi air pengisian terhadap firetube | = 800 mm = 0,8 m |
| t_{ba} | = Tinggi air pengisian terhadap badan <i>boiler</i> | = 1200 mm = 1,2 m |
| t_d | = Tinggi dapur | = 400 mm = 0,4 m |



$$\begin{aligned}
 V_{\text{Badan boiler}} &= Lb \times t_{ba} \\
 &= \pi r b^2 \times t_{ba} \\
 &= 3,14 \times (0,375 \text{ m})^2 \times 1,2 \text{ m} \\
 &= 0,4415625 \text{ m}^2 \times 1,2 \text{ m} \\
 &= 0,529 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Firetube}} &= Lt \times t_{ta} \\
 &= \pi r t^2 \times t_{ta} \\
 &= 3,14 \times (0,034 \text{ m})^2 \times 0,8 \text{ m} \\
 &= 0,00362984 \text{ m}^2 \times 0,8 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$= 0,0029 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Firetube}}(\text{total}) = V_t \times \text{jumlah firetube}$$

$$= 0,0029 \text{ m}^3 \times 21$$

$$= 0,0609 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Dapur}} = Ld \times t_d$$

$$= \pi r_d^2 \times t_d$$

$$= 3,14 \times (0,335 \text{ m})^2 \times 0,4 \text{ m}$$

$$= 0,1408 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Air}} = V_{\text{Badan boiler}} - (V_{\text{Firetube}}(\text{total}) + V_{\text{Dapur}})$$

$$= 0,529 \text{ m}^3 - (0,0609 \text{ m}^3 + 0,1408 \text{ m}^3)$$

$$= 0,3273 \text{ m}^3$$

$$M_{\text{Air}} = V_a \times \rho_{\text{air}}$$

$$= 0,3273 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$= 327,3 \text{ kg}$$

$$= 327,3 \text{ Liter}$$

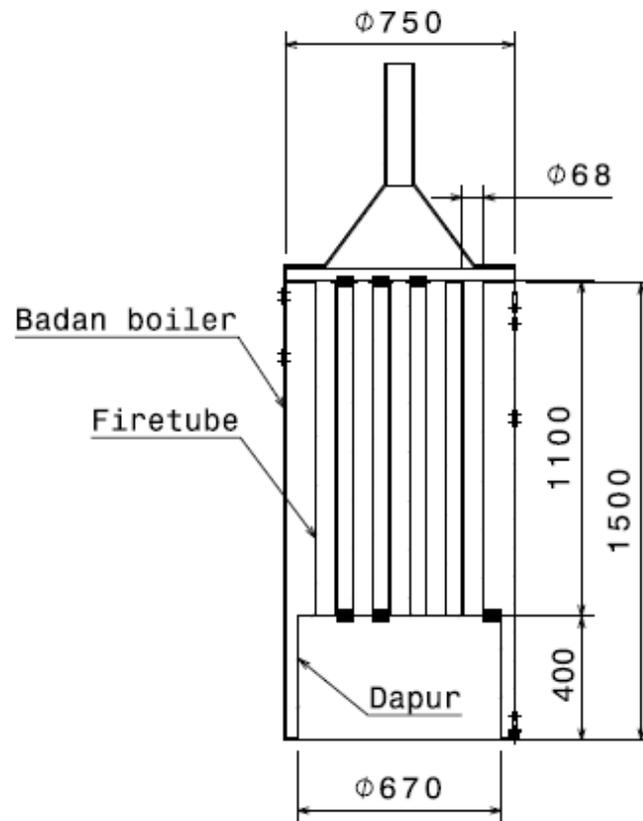
Air pengisian maksimal yang dapat dimasukkan ke dalam *boiler* yaitu 327,3 Liter.

$$M_{\text{Air}} (\text{Newton}) = 327,3 \text{ kg} \times 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$= 3273 \text{ N}$$

LAMPIRAN 2**PERHITUNGAN TEKANAN AIR**

| | | |
|-------|--------------------------------|-------------------|
| D_b | = Diameter badan <i>boiler</i> | = 750 mm = 0,75 m |
| t_b | = Tinggi badan <i>boiler</i> | = 1500 mm = 1,5 m |
| L_t | = Luas dinding firetube | |
| D_t | = Diameter firetube | = 68 mm = 0,068 |
| t_t | = Tinggi firetube | = 1100 mm = 1,1 m |
| L_d | = Luas dapur | |
| D_d | = Diameter dapur | = 670 mm = 0,67 m |
| t_d | = Tinggi dapur | = 400 mm = 0,40 m |
| M_a | = Beban air pengisian | |



$$\begin{aligned}
 L_{Dinding\ badan\ boiler} &= \pi D_b t_b \\
 &= 3,14 \times 0,75\ m \times 1,5\ m \\
 &= 3,5325\ m^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{Firetube\ (total)} &= L_{Firetube} \times \text{jumlah\ pipa\ api} \\
 &= \pi D_t t_t \times 21 \\
 &= 3,14 \times 0,068\ m \times 1,1\ m \times 21 \\
 &= 0,2348\ m^2 \times 21 \\
 &= 4,9323\ m^2
 \end{aligned}$$

$$L_{Dapur} = \pi D_d t_d$$

$$= 3,14 \times 0,67 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}$$

$$= 0,8415 \text{ m}^2$$

$$\text{Total permukaan} = L_{\text{Dinding badan boiler}} + L_{\text{Firetube (total)}} + L_{\text{Dapur}}$$

$$= 3,5325 \text{ m}^2 + 4,9323 \text{ m}^2 + 0,8415 \text{ m}^2$$

$$= 9,3063 \text{ m}^2$$

$$\text{Tekanan kerja} = \frac{M_{\text{air}}}{\text{Total permukaan}}$$

$$= \frac{3273 \text{ N}}{9,3063 \text{ m}^2}$$

$$= 351,7 \text{ N/m}^2$$

LAMPIRAN 3

PERHITUNGAN VOLUME AIR DAN VOLUME RUANG UAP

Volume air pengisian sebelumnya telah dihitung pada lampiran 1 dan diketahui sebesar 327,3 liter. Selanjutnya untuk mengetahui volume ruang uap atau volume uap yang dihasilkan pada badan boiler dengan perhitungan sebagai berikut :

Volume badan boiler dan tubesheet adalah yang berada pada ruang uap

V_{sb} = Volume badan boiler

V_{sf} = Volume *firetube*

L_{sb} = Luas badan boiler

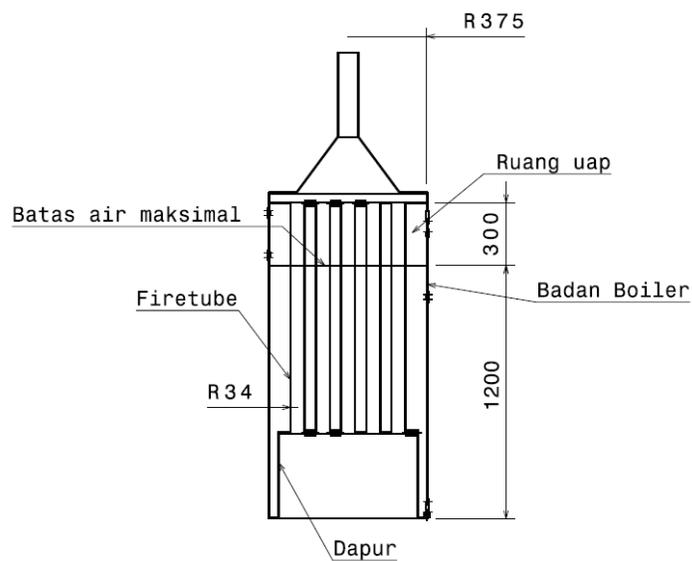
L_{sf} = Luas *firetube*

r_{sb} = Radius badan *boiler* = 375 mm = 0,375 m

r_{sf} = Radius *firetube* = 34 mm = 0,034 m

t_{sb} = Tinggi badan *boiler* = 300 mm = 0,3 m

t_{sf} = Tinggi *firetube* = 300 mm = 0,3 m



$$\begin{aligned}
 V_{sb} &= Lsb \times t_{ba} \\
 &= \pi r b^2 \times t_{ba} \\
 &= 3,14 \times (0,375 \text{ m})^2 \times 0,3 \text{ m} \\
 &= 0,4415625 \text{ m}^2 \times 0,3 \text{ m} \\
 &= 0,132 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{sf} &= Lsf \times t_{sf} \\
 &= \pi r t^2 \times t_{sf} \\
 &= 3,14 \times (0,034 \text{ m})^2 \times 0,3 \text{ m} \\
 &= 0,00362984 \text{ m}^2 \times 0,3 \text{ m} \\
 &= 0,00109 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Vruang uap} &= Vsb - Vsf \\
 &= 0,132 \text{ m}^3 - 0,00109 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$= 0,1309 \text{ m}^3$$

$$= 130,9 \text{ liter}$$

Jadi volume ruang uap pada boiler adalah 130,9 liter.

LAMPIRAN 4

PERHITUNGAN KEBUTUHAN BAHAN BAKAR

Bahan bakar yang digunakan untuk proses pemanasan adalah kayu bakar.

Kebutuhan bahan bakar diketahui dari perhitungan-perhitungan berikut ini:

$$Q = S \times \Delta i$$

S = Kapasitas *Boiler* (kg/jam)

Diasumsikan kapasitas *boiler* sebesar 300 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) = 2756,2 kJ/kg
(Cengel 2005: 894)
- Entalpi air pengisian ketel 1 atm (101.325 kPa) = 419,06 kJ/kg
(Cengel 2005: 892)

$$Q = S \times \Delta i$$

$$Q = 300 \text{ kg/jam} \times (2756,2 \text{ kJ/kg} - 419,06 \text{ kJ/kg})$$

$$Q = 300 \text{ kg/jam} \times (2337,14 \text{ kJ/kg})$$

$$Q = 701142 \text{ kJ/jam}$$

Konsumsi bahan bakar *boiler*

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

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 Values of Gas, Liquid and Solid Fuels)

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

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

$$B = \frac{701142 \text{ kJ/jam}}{19,551 \text{ MJ/kg} \times 0.70}$$

$$B = \frac{701142 \text{ kJ/jam}}{13,6857 \text{ MJ/kg}}$$

$$B = \frac{701142 \text{ kJ/jam}}{13685,7 \text{ kJ/kg}}$$

$$B = 51,23 \text{ kg/jam}$$

Jadi kebutuhan bahan bakar pada *boiler* industri tahu ini yaitu 51,23 kg/jam bahan bakar kayu. Besar kebutuhan bahan bakar ini cukup untuk memenuhi kebutuhan uap dengan kapasitas maksimal 300 kg/jam.

LAMPIRAN 5

PERHITUNGAN PENGUAPAN AWAL

Dari perhitungan kebutuhan bahan bakar didapatkan data sebagai berikut :

- a. Kebutuhan bahan bakar = 51,23 kg/jam
- b. Kalor *boiler* = 701142 kJ/jam
- c. Massa air pengisian *boiler* = 327,3 kg

Dari data diatas maka untuk mengetahui waktu penguapan awal *boiler* dengan menggunakan perhitungan-perhitungan sebagai berikut :

$$Q = m c \Delta t$$

Keterangan

Q : Kalor yang dibutuhkan (J atau kalori)

m : Massa air pengisian = 327,3 kg = 327300 gram

c : Kalor jenis air = 1,0069 kal/gram⁰C

Δt : Perubahan temperatur

t_1 = 20⁰C (temperatur awal air)

t_2 = 100⁰C (temperatur air mendidih)

$$Q = m c \Delta t$$

$$Q = 327300 \text{ gram} \times 1,0069 \text{ kal/gram}^0\text{C} \times (100^0\text{C} - 20^0\text{C})$$

$$Q = 329558,37 \text{ kal/}^0\text{C} \times 80^0\text{C}$$

$$Q = 26364669,6 \text{ kal}$$

$$Q = 110357233,9 \text{ J}$$

Selanjutnya untuk mendapatkan waktu pemanasan awal dengan perhitungan sebagai berikut :

$$Q1 = Q2$$

Keterangan

Q1 = Kalor *boiler* = 701142 kJ/jam (dari perhitungan konsumsi bahan bakar)

Q2 = Kalor yang dibutuhkan untuk penguapan = 110357,24 kJ

$$Q1 = Q2$$

$$701142 \text{ kJ/jam} = 110357,24 \text{ kJ}$$

$$6,35 = \text{jam}$$

$$\text{Waktu penguapan awal} = \frac{1}{6,35} \text{ jam}$$

$$\text{Waktu penguapan awal} = 10 \text{ menit}$$

Jadi dari perhitungan didapatkan waktu penguapan awal sebesar 10 menit, artinya air mulai menguap pada 10 menit dengan bahan bakar maksimal. Jika diasumsikan bahan bakar juga melakukan pembakaran awal maka waktu yang dibutuhkan untuk penguapan air hingga uap dapat digunakan untuk proses produksi adalah sekitar 30 menit hingga 90 menit.

LAMPIRAN 6

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 satu tempat sebanyak 150 liter bubur kedelai atau terdiri dari 50 kg kering dan 100 kg air. Dari asumsi tersebut maka dapat diketahui massa uap air yang dibutuhkan dal 1 kali memasak hingga bubur kedelai mendidih dengan perhitungan berikut :

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

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

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

$$100 \text{ kg} \times 4200 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times 70^{\circ}\text{C} = m \times 2100 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times 50^{\circ}\text{C}$$

$$29400000 \text{ J} = m \times 105000 \text{ J/kg}$$

$$m = \frac{29400000 \text{ J}}{105000 \text{ J/kg}}$$

$$m = 280 \text{ kg}$$

Jadi kebutuhan uap air setiap 1 kali memasak sebesar 280 kg uap air. Jika disesuaikan dengan kapasitas produksi uap *boiler*, maka setiap 1 kali memasak kira-kira membutuhkan waktu 1 jam.