

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

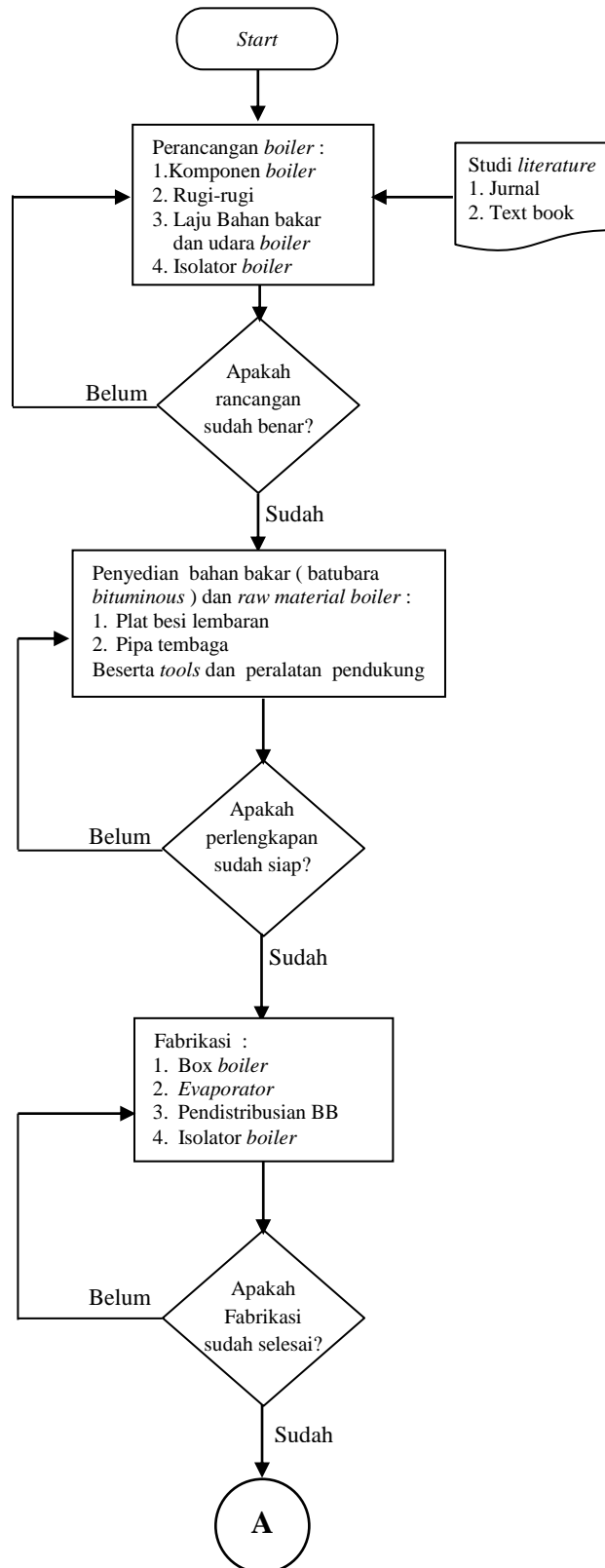
Percobaan, fabrikasi dan pengambilan data pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Termodinamika serta Bengkel Mekanik untuk melakukan beberapa fabrikasi yang tidak dapat dilakukan pada laboratorium Terpadu Teknik Mesin Universitas Lampung. Berikut merupakan jadwal kegiatan penelitian yang tersusun pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1.** Jadwal Kegiatan Penelitian

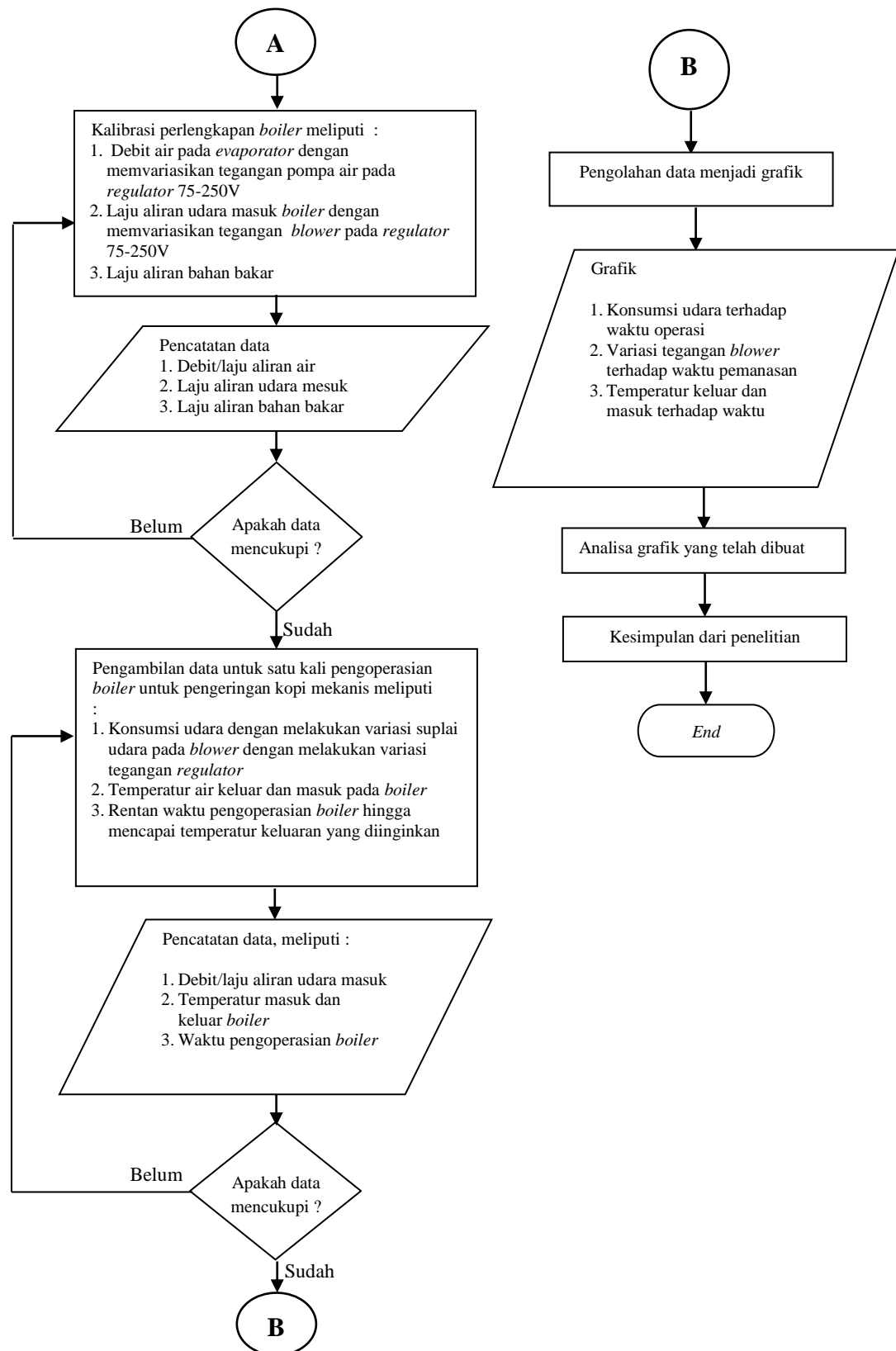
Kegiatan		Juni				Juli				Agustus				September			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi <i>Literature</i>	■	■	■													
2	Perancangan	■	■	■													
3	Pembelian alat dan bahan			■	■	■											
4	Pembuatan <i>Boiler</i>					■	■	■	■	■							
5	Eksperimen									■	■	■	■	■	■		
6	Pembuatan laporan akhir														■	■	■

#### 3.2. Alur Penelitian

Secara garis besar, alur pelaksanaan penelitian ini dijelaskan pada diagram alir penelitian di bawah :



**Gambar 3.1.** Diagram alir penelitian



**Gambar 3.2.** Diagram penelitian (lanjutan)

### 3.3. Perencanaan *Boiler*

#### 3.3.1. Besar energi yang dibutuhkan air pada *evaporator*

*Evaporator* merupakan tempat sirkulasi air pada *boiler*, dimana keluaran air yang dirancang dari *boiler* adalah sebesar 100°C yang digunakan untuk sumber energi pada model pengering kopi panas bumi. Untuk mencapai temperatur keluaran dari *boiler* sebesar 100°C diperlukan perancangan dimensi *evaporator*, sehingga keluaran air dari *boiler* sesuai dengan yang dibutuhkan oleh model pengering kopi panas bumi. Dalam perancangan *evaporator* diperlukan data awal yang merupakan bagian dari perancangan, yang dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3.2.** Sifat fluida pada *evaporator*

Fluida yang dipanaskan	Air
Temperatur masuk ( $T_{c,in}$ )	302,5 K
Temperatur keluar ( $T_{c,out}$ )	373 K
Cp air	4.18 kJ/kg.K
$\rho_{air}$	981,5 kg/m <sup>3</sup>
Debit pompa ( $Q_{debit}$ )	3 liter/menit
	0,00005 m <sup>3</sup> /s

Laju aliran massa fluida ( $\dot{m}$ ) merupakan besar aliran air yang bersirkulasi pada *evaporator*. Mengacu pada tabel 3.2 di atas, debit air rancangan adalah sebesar 3 liter/menit. Dengan debit air tersebut dapat digunakan untuk menentukan besar laju aliran massa yang bersirkulasi pada *boiler* sebagai berikut.

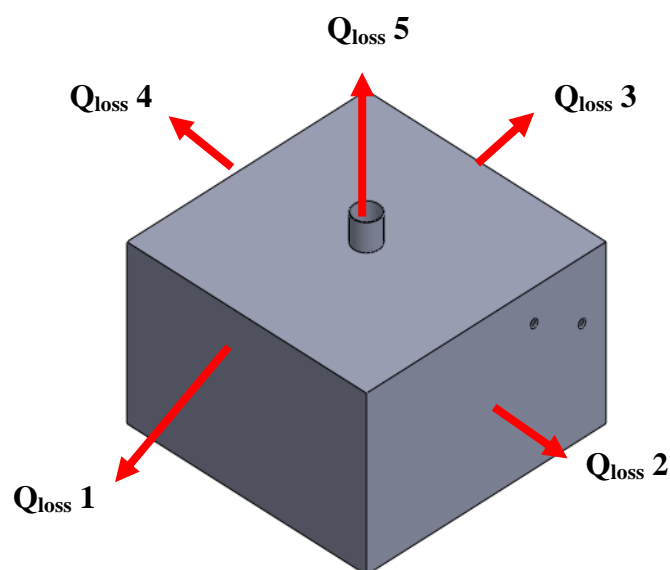
$$\begin{aligned}
 \dot{m} &= 3 \text{ liter/menit} \cdot \rho_{air} \\
 &= 0,00005 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 981,5 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 0,049 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

Mengacu pada persamaan 2.6, besar energi yang dibutuhkan *evaporator* untuk menghasilkan keluaran air sebesar 100°C adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Q_{air} &= \dot{m}_f \cdot C_{p,f} \cdot \Delta T_f \\ &= 0,049 \text{ kg/s} \cdot 4,18 \text{ KJ/kg.K} (373 - 302,5) \text{ K} \\ &= 14,46 \text{ kW} \end{aligned}$$

### 3.3.2. Perancangan besar energi yang hilang akibat panas

Sifat alamiah panas adalah selalu bergerak atau merambat dari temperatur yang lebih tinggi menuju temperatur yang lebih rendah. Pada *boiler* komponen yang memiliki temperatur lebih tinggi adalah komponen ruang bakar. Disebabkan komponen ruang bakar memiliki temperatur yang lebih tinggi dari komponen *boiler* lain, sehingga mengakibatkan panas pada ruang bakar dapat merambat ke setiap komponen yang memiliki temperatur lebih rendah dari ruang bakar. Rambatan panas kesetiap komponen sekitar ruang bakar tersebut merupakan rugi-rugi ( $Q_{loss}$ ) yang terjadi pada *boiler*. Besar rugi-rugi yang terjadi pada boiler dapat dilihat pada gambar ilustrasi rugi-rugi berikut.



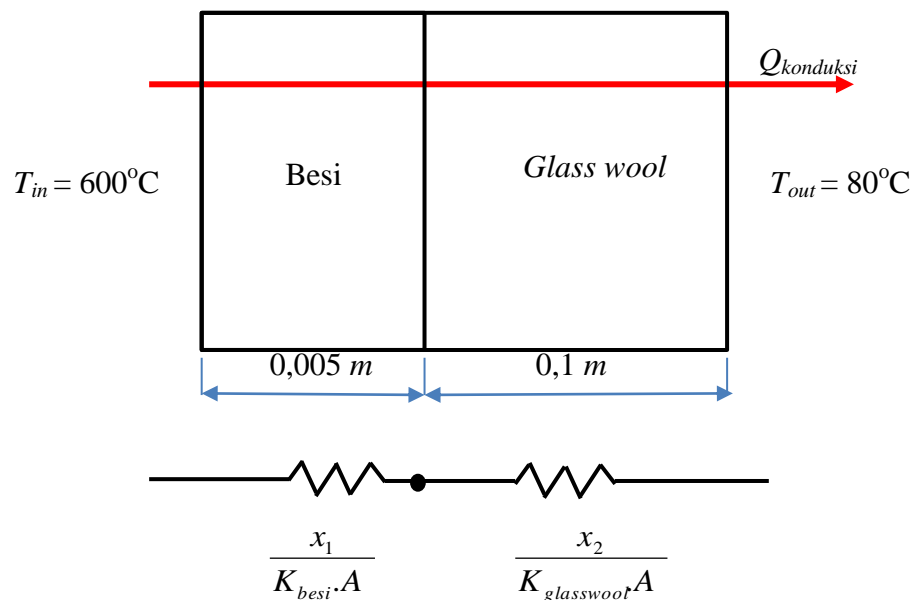
**Gambar 3.3.** Ilustrasi rugi-rugi panas pada *boiler*

Rugi-rugi *boiler* yang diilustrasikan pada gambar 3.3 di atas merupakan rugi-rugi panas akibat konduksi dan rugi aliran *thermal*. Dengan menggunakan persamaan 2.1 dan 2.6 dapat diketahui besar rugi-rugi yang terjadi pada *boiler*. Sebelum mengetahui besar rugi-rugi panas yang terjadi, terlebih dahulu dilakukan pengumpulan data yang mempermudah identifikasi rugi-rugi sebagai berikut.

**Tabel 3.3.** Sifat rugi-rugi akibat konduksi pada dinding 1,2,3,4

$K_{glass\ wool}$	0,04 W/m.K
$T_{in}$	600 °C
$T_{out}$	80 °C
Panjang dinding ( $P$ )	0.5 m
Lebar dinding ( $L$ )	0,4 m
Luas penampang ( $A = P.L$ )	0,2 m <sup>2</sup>
Tebal besi ( $x_1$ )	0.005 m
Tebal glass wool ( $x_2$ )	0.1 m
$K_{besi}$	80,2 W/m.K

Besar rugi-rugi akibat konduksi pada dinding 1 yang terjadi pada *boiler* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaa 2.1 sebagai berikut.



**Gambar 3.4.** Diagram benda bedas rugi-rugi panas akibat konduksi

$$Q_{konduksi} = \frac{T_{in} - T_{out}}{\frac{x_1}{K_{besi} \cdot A} + \frac{x_2}{K_{glasswool} \cdot A}}$$

$$Q_{konduksi} = \frac{873 - 353}{\frac{0,005}{80,2 \cdot 0,2} + \frac{0,1}{0,04 \cdot 0,2}}$$

$$Q_{konduksi} = \frac{520 \text{ K}}{0,000312 + 12,5}$$

$$Q_{konduksi} = 41,6 \text{ W}$$

$$Q_{konduksi} = 0,0416 \text{ kW}$$

Disebabkan permukaan dinding 2,3 dan 4 memiliki property yang sama dengan permukaan dinding 1, maka besar rugi-rugi yang terjadi adalah seragam sebesar 0,416 kW

$$Q_{losses\ 1} = Q_{losses\ 2} = Q_{losses\ 3} = Q_{losses\ 4} = Q_{konduksi} = 0,0416 \text{ kW}$$

Pada permukaan dinding 5 terdapat lubang sebagai saluran keluar gas akibat pembakaran, sehingga mengakibatkan rugi-rugi yang terjadi pada dinding 5 berbeda dengan permukaan dinding 1.2.3 dan 4. Rugi-rugi yang terjadi pada permukaan dinding 5 adalah rugi-rugi aliran *thermal* akibat lubang dan rugi-rugi akibat konduksi pada dinding yang tidak berlubang ( $Q_{losses\ 5} = Q_{konduksi} + Q_{aliran}$ ). Besar rugi-rugi pada permukaan dinding 5 dapat diketahui mengacu pada persamaan 2.1. dan 2.6. sebagai berikut.

**Tabel 3.4.** Sifat rugi-rugi panas pada permukaan 5

$Flow$	220,8 $m^3/h$
$\dot{m}$	0,048 $kg/s$
$Cp_{udara}$	1,09 $kJ/kg.K$
$T_{in}$	600 $^{\circ}C$
$T_{out}$	200 $^{\circ}C$

$$\begin{aligned}
 Q_{loss, lubang} &= \dot{m} \cdot Cp \cdot (T_{in} - T_{out}) \\
 &= 0,048 \cdot 1,09 \cdot (600 - 200) K \\
 &= 20,93 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Besar panas yang hilang pada permukaan dinding 5 adalah jumlah rugi konduksi dan rugi akibat lubang sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Q_{losses\ 5} &= Q_{konduksi} + Q_{akibat\ lubang} \\
 &= 0,0416 \text{ kW} + 20,93 \text{ kW} \\
 &= 20,97 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Setelah menemukan kemungkinan besar panas yang hilang pada setiap permukaan dinding maka dapat diketahui besar panas yang hilang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Q_{losses\ total} &= Q_{losses\ 1} + Q_{losses\ 2} + Q_{losses\ 3} + Q_{losses\ 4} + Q_{losses,5} \\
 &= 4 \ Q_{rad} + Q_{losses,5} \\
 &= 4 \ (0,0416 \text{ kW}) + 20,97 \text{ kW} \\
 &= 21,14 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

### 3.3.3. Perancangan konsumsi bahan bakar batubara

Bahan bakar yang digunakan *boiler* adalah batubara jenis bituminous dengan nilai kalor nyata (*LHV*) sebesar 22524,4 kJ/kg. Dengan nilai kalor nyata tersebut dapat digunakan untuk menentukan besar kebutuhan bahan bakar batubara *boiler* sebagai berikut.



$$Q_{bb} = Q_{air} + Q_{losses,total}$$

$$LHV \cdot \dot{m}_{bb} \cdot \eta_{pembakaran} = Q_{air} + Q_{losses,total}$$

$$22524,4 \text{ kJ/kg} \cdot \dot{m}_{bb} \cdot 0,35 = 14,46 \text{ kW} + 21,14 \text{ kW}$$

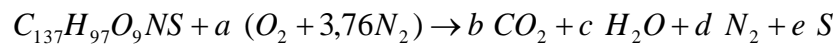
$$\dot{m}_{bb} = \frac{35,6 \text{ kW}}{7883,54 \text{ kJ/kg}}$$

$$\dot{m}_{bb} = 0,0045 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{bb} = 16,3 \text{ kg/Jam}$$

### 3.3.4. Perancangan konsumsi udara terhadap bahan Bakar (AF)

Pada penelitian ini jenis batubara yang digunakan adalah Batubara jenis bituminous ( $C_{137}H_{97}O_9NS$ ) sehingga besar kebutuhan udara idealnya adalah.



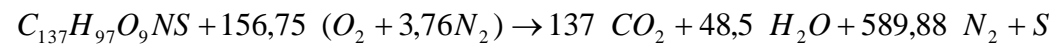
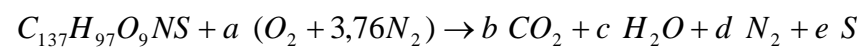
$$C: \quad 137 = b \quad \rightarrow b = 137$$

$$H: \quad 97 = 2c \quad \rightarrow c = 48,5$$

$$O: \quad 9 + 2a = 2b + c \quad \rightarrow a = 156,75$$

$$N_2: \quad 1 + a (3,76 \cdot 2) = 2d \quad \rightarrow d = 589,88$$

$$S: \quad 1 = e \quad \rightarrow e = 1$$



$$\begin{aligned} AF &= \frac{m_{air}}{m_{fuel}} = \frac{(NM)_{air}}{(NM)_c + (NM)_{H_2}} \\ &= \frac{(156,75 \cdot 4,76 \text{ Kmol}) (29 \text{ kg/mol})}{(137 \text{ Kmol}) (12 \text{ kg/mol}) + (48,5 \text{ Kmol}) (2 \text{ kg/mol})} \\ &= \frac{21637,77 \text{ kg}_{air}}{1741 \text{ kg}_{fuel}} \\ &= 12,43 \text{ kg}_{air} / \text{kg}_{fuel} \end{aligned}$$

### 3.3.5. Perancangan kapasitas blower

Dalam pembakaran, udara merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi sempurna atau tidaknya suatu pembakaran. Karenanya dibutuhkan perhitungan untuk menentukan besar konsumsi udara terhadap bahan bakar. Untuk lebih mempermudah, berikut merupakan property yang digunakan..

**Tabel 3.5.** Sifat perhitungan kapasitas kebutuhan udara

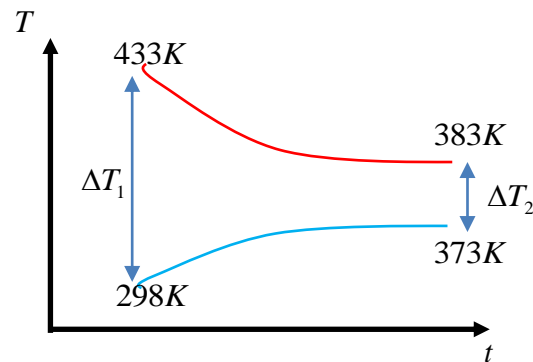
Kebutuhan udara bahanbakar ( $AF$ )	$12,43 \text{ kg}_{air} / \text{kg}_{fuel}$
Konsumsi bahan bakar batubara ( $\dot{m}_{bb}$ )	$\dot{m}_{bb} = 16,3 \text{ kg} / \text{Jam}$
$\rho_{udara@300K}$	$1,1614 \text{ kg/m}^3$

Sehingga kebutuhan udara terhadap bahan bakar adalah.

$$\begin{aligned}
 Flow_{udara} &= \frac{AF \cdot \dot{m}_{bb}}{\rho_{udara}} \\
 &= \frac{12,43 \text{ kg}_{air} / \text{kg}_{fuel} \cdot 16,3 \text{ kg} / \text{Jam}}{1,1614 \text{ kg} / \text{m}^3} \\
 &= \frac{202,609 \text{ kg} / \text{Jam}}{1,1614 \text{ kg} / \text{m}^3} \\
 &= 174,45 \text{ m}^3 / \text{Jam}
 \end{aligned}$$

### 3.3.6. Perancangan *evaporator* dengan metode LMTD

Dengan menggunakan metode *LMTD* harus diketahui data awal perancangan yang akan dilakukan, meliputi arah aliran kedua fluida pemanas dan yang dipanaskan, untuk mempermudah perolehan data awal dapat dilihat pada grafik hubungan Temperatur ( $T$ ) dan waktu ( $t$ ) pada gambar 3.4 berikut



**Gambar 3.5.** Grafik hubungan temperatur dan waktu

Mengacu grafik hubungan pada gambar 3.5 di atas, dapat digunakan untuk menentukan  $\Delta T_{LMTD}$  sebagai berikut

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

$$\Delta T_{LMTD} = \left( \frac{(383 - 373) - (433 - 298)}{\ln \frac{(383 - 373)}{(433 - 298)}} \right)$$

$$\Delta T_{LMTD} = 48,0272.K$$

Setelah mengetahui besar nilai  $\Delta T_{LMTD}$  yang telah didapatkan, berkisar 48,0272 K, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan koefisien perpindahan panas keseluruhan ( $U$ ) yang terjadi pada fluida yang akan dipanaskan (air). Untuk menentukannya terlebih dahulu harus mengetahui besar diameter dan material pipa yang digunakan, dalam perancangan ini diasumsikan diameter luar ( $D_{out}$ ) pipa yang digunakan adalah 0,5 Inch dengan property sebagai berikut.

$$D_{out} = 5/8 \text{ Inch}$$

$$= 0,015875 \text{ m}$$

Untuk menentukan koefisien gesek ( $\mu_g$ ) dan nilai prandtl (Pr), didapatkan pada *Apendix Tabel A.6 Thermophysical Properties of Saturated Water* dengan menggunakan temperatur rata-rata fluida masuk sebesar 335,5 K sehingga didapat nilai sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\mu_f &= 0,0004497 \text{ N.s / m}^2 \\ \text{Pr}_f &= 2,858\end{aligned}$$

Dengan asumsi diameter pipa *evaporator* yang telah ditentukan sebelumnya, digunakan untuk menentukan luas penampang pipa seperti berikut.

$$\begin{aligned}A &= \frac{\pi}{4} D^2 \\ A &= \frac{\pi}{4} (0,015875 \text{ m})^2 \\ A &= 0,00019783 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Setelah didapatkan luas penampang pipa, maka langkah selanjutnya adalah menentukan kecepatan fluida (air) yang mengalir dalam pipa *evaporator*, dengan menggunakan persamaan yang mengacu pada persamaan pada *literature* sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\dot{m}_{air} &= \rho_{air} \cdot v \cdot A \\ 0,049 \text{ kg/s} &= 981,5 \text{ kg / m}^3 \cdot v \cdot 0,000197832 \text{ m}^2 \\ v_f &= \frac{0,049 \text{ kg / s}}{981,5 \text{ kg / m}^3 \cdot 0,000197832 \text{ m}^2} \\ v_f &= 0,25 \text{ m / s}\end{aligned}$$

Untuk menentukan jenis aliran yang terjadi pada fluida maka dihitung besar bilangan Reynolds untuk fluida (air) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Re_{air} &= \frac{\rho \cdot v_f \cdot D}{\mu_f} \\
 &= \frac{9,81,5 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,25 \text{ m/s} \cdot 0,015875 \text{ m}}{0,0004497 \text{ N.s/m}^2} \\
 &= 8756,97
 \end{aligned}$$

Mengacu nilai bilangan Reynolds dengan aliran turbulent digunakan untuk menghitung *Nusselt number*, dengan ketentuan penggunaan bilangan pada persamaan mengacu pada tabel 2.1 pada pustaka

$$\begin{aligned}
 NuD_{out} &= C \cdot Re^m \cdot Pr^{1/3} \\
 &= 0,193 \cdot Re^{0,618} \cdot Pr^{1/3} \\
 &= 0,193 \cdot (8756,97)^{0,618} \cdot (2,858)^{1/3} \\
 &= 74,8
 \end{aligned}$$

Menghitung koefisien perpindahan panas konveksi bagian luar pipa ( $h_{out}$ ), menggunakan nilai konduktivitas thermal (K) pada *Apendix A Thermophysical Properties of matter Table A.1* dengan jenis material pipa *evaporator* tembaga constantan yaitu sebesar 0,0023 KW/mK

$$\begin{aligned}
 h_{out} &= \frac{NuD_{out} \cdot k}{D_{out}} \\
 &= \frac{74,8 \cdot 0,023 \text{ KW/m.K}}{0,015875 \text{ m}} \\
 &= 108,38 \text{ KW/m}^2 \text{K}
 \end{aligned}$$

Menghitung nilai koefisien konveksi bagian dalam pipa ( $h_{in}$ ), dengan menggunakan perbandingan nilai diameter dalam derbanding dengan diameter luar pipa yang mengacu pada tabel 2.2 pada pustaka

$$\frac{D_{in}}{D_{out}} = \frac{0,015375.m}{0,015875.m}$$

$$\frac{D_{in}}{D_{out}} = 0,968$$

Dengan menggunakan interpolasi didapatkan nilai  $NuD_{in}$  sebesar : 4,92 dapat digunakan untuk menentukan nilai koefisien perpindahan konveksi bagian luar dengan menggunakan persamaan berikut

$$h_{in} = \frac{NuD \cdot k}{D_{in}}$$

$$= \frac{4,92 \cdot 0,023 \text{ KW} / m.K}{0,0015375 \text{ m}}$$

$$= 7,12 \text{ KW/m}^2 K$$

Setelah didapatkan nilai perpindahan panas konveksi bagian luar dan bagian dalam, maka dapat diperoleh nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{in}} + \frac{1}{h_{out}}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{7,12} + \frac{1}{108,38}}$$

$$U = 6,68 \text{ KW/m}^2 K$$

Menentukan faktor koreksi untuk pipa *evaporator* sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{t_o - t_i}{T_i - t_i} \\
 &= \frac{373 - 302,5}{433 - 302,5} \\
 &= 0,54
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{T_{in} - T_{out}}{t_o - t_i} \\
 &= \frac{433 - 383}{373 - 302,5} \\
 &= 0,71
 \end{aligned}$$

Dari nilai  $P$  dan  $R$  didapat faktor koreksi berkisar 0,86 mengacu pada grafik *correction factor for a single pass cross flow* kemudian dapat digunakan untuk menentukan panjang pipa *evaporator* sebagai berikut.

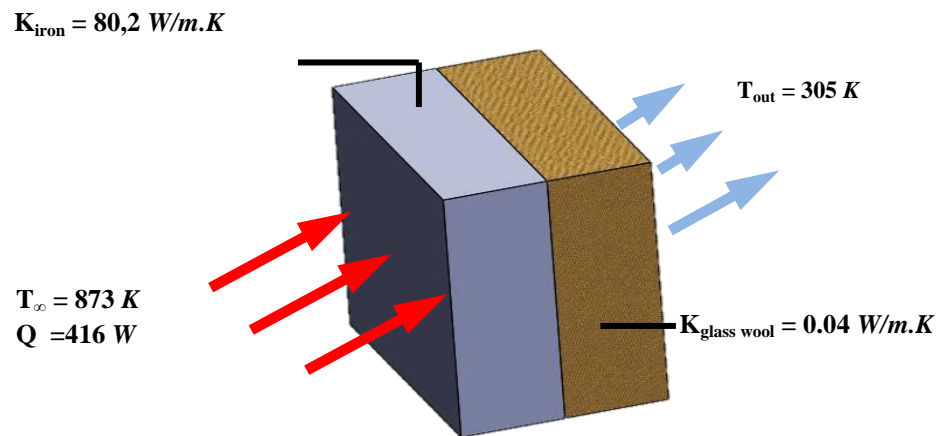
$$\begin{aligned}
 Q_{in,air} &= U.A.\Delta T_{LMTD}.F \\
 Q_{air} + Q_{losses,total} &= U.(\pi.D.L).\Delta T_{LMTD}.F \\
 L &= \frac{Q_{air} + Q_{losses,total}}{U.\pi.D.\Delta T_{LMTD}.F} \\
 L &= \frac{14,46 \text{ kW} + 21,14 \text{ kW}}{6,68 \text{ kW/m}^2\text{K}.\pi.0,015375\text{ m}.48,0272\text{ K}.0,86} \\
 L &= 2,8 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### 3.3.7. Perancangan isolator pada dinding boiler

Perancangan isolator ditujukan untuk mengurangi rugi-rugi yang kemungkinan merambat secara konduksi kesetiap dinding *boiler* yang dapat ditentukan sebagai berikut.

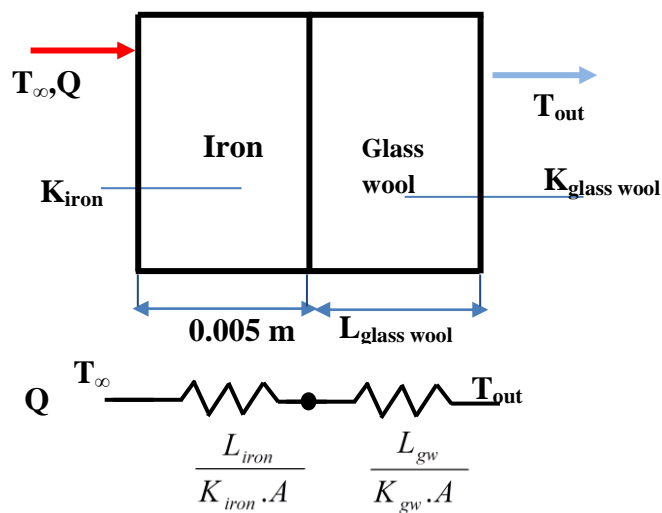
**Tabel 3.6.** Sifat dinding awal

Temperatur dinding dalam ( $T_{\infty}$ )	873 K
Temperatur lingkungan ( $T_{out}$ )	305 K
Perpindahan panas (Q)	416 W
Konduktivitas thermal <i>iron</i> ( $K_{iron}$ )	80,2 W/m.K
Tebal dinding <i>iron</i> ( $x$ )	0,005 m
Panjang x Lebar dinding <i>iron</i> dan <i>glass wool</i>	0,5 m x 0,4 m
Konduktivitas thermal <i>glass wool</i> ( $K_{glass wool}$ )	0,04 W/m.K



**Gambar 3.6.** Ilustrasi dinding *boiler*

DBB



**Gambar 3.7.** Diagram banda bebas pada dinding *boiler*

Karena ruang pembakaran dan ruang *evaporator* berbentuk kubus dengan dimensi dinding dan atap yang sama, maka besar luas penampang dinding *boiler* adalah sebagai berikut.



$$\begin{aligned}
 A &= P.L \\
 &= 0,5 \text{ m} . 0,4 \text{ m} \\
 &= 0,2 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Dengan acuan pada gambar 3.4. digunakan untuk menentukan tebal isolator *glass wool* yang digunakan pada *boiler* sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{T_{\infty} - T_{out}}{\frac{L_{iron}}{K_{iron} \cdot A} + \frac{L_{clay}}{K_{clay} \cdot A}} \\
 41,6 \text{ W} &= \frac{873 \text{ K} - 353 \text{ K}}{\frac{0,005}{80,2 \cdot 0,2} + \frac{L_{glasswool}}{0,04 \cdot 0,2}} \\
 41,6 \text{ W} &= \frac{520 \text{ K}}{0,000312 + 125 L_{glasswool}} \\
 0,013 \text{ K} + 5200 \text{ K/m} L_{glasswool} &= 520 \text{ K} \\
 L_{glasswool} &= \frac{520 \text{ K} - 0,013 \text{ K}}{5200 \text{ K/m}} \\
 L_{glasswool} &= 0,1 \text{ m} \\
 L_{glasswool} &= 10 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

### 3.4. Fabrikasi *boiler*

Fabrikasi *boiler* dibagi dalam beberapa tahapan pembuatan komponen, meliputi pembuatan ruangan bahan bakar dan ruang *evaporator*, penampungan bahan bakar dan pembuatan isolator dinding *boiler*. Dalam proses manufaktur terbagi dalam beberapa proses yaitu

1. Pemotongan (*Cutting*) yaitu proses pemotongan plat dalam pembuatan ruang pada *boiler*.
2. Pengeboran (*Drilling*) yaitu proses pengeboran lubang untuk penempatan baut, pembuatan saluran udara pada cone bahan bakar.

3. Pengelasan (*Welding*) yaitu proses penyambungan komponen komponen *boiler* hingga menjadi satu kesatuan yang utuh.
4. Penghalusan (*Grinding*) yaitu proses penghalusan bagian yang tajam sehingga tidak membahayakan keselamatan pekerja.
5. Pengecatan (*Painting*) yaitu proses pengecatan bagian *boiler* agar terhindar dari korosi sehingga dapat bertahan lama.

Tahapan awal dari pembuatan *boiler* ini adalah pembelian alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan serta pengujian dari *boiler*. Bahan yang dibeli meliputi besi lembaran ukuran tebal 5 mm, pipa tembaga diameter 5/8 Inch, besi poros *screw conveyor*, plat siku ukuran 5mm sebagai rangka dan dudukan untuk komponen pendukung pada *boiler*, besi pipa yang digunakan sebagai saluran buang sisa pembakaran dan sebagai tempat peletakan *screw conveyor*.



**Gambar 3.8.** Pemilihan bahan baku *boiler*

Proses selanjutnya adalah proses pembentukan bahan yang telah didapatkan. Dalam proses pembentukan terdapat didalamnya adalah proses pemotongan yaitu dengan menggunakan gerinda potong untuk plat lembaran yang digunakan sebagai dinding *boiler* pada bagian atas dan bawah, pemotongan

dilakukan dengan ukuran 50 cm x 50 cm sebanyak 10 lembar. Untuk dimensi lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran gambar teknik.



**Gambar 3.9.** Proses pemotongan bahan

Tahapan pembentukan selanjutnya adalah pengelasan (*welding*), dimana pada tahapan pengelasan dilakukan untuk meenyambungkan bahan baku yang telah dilakukan proses pemotongan, adapun pengelasan dilakukan untuk membuat box *boiler* bagian atas dan bawah beserta tempat peletakan komponen pendukung pada boiler. Sehingga pada proses pengelasan ini menjadi bentuk *boiler* yang telah didesain sebelumnya seperti pada lampiran gambar teknik.



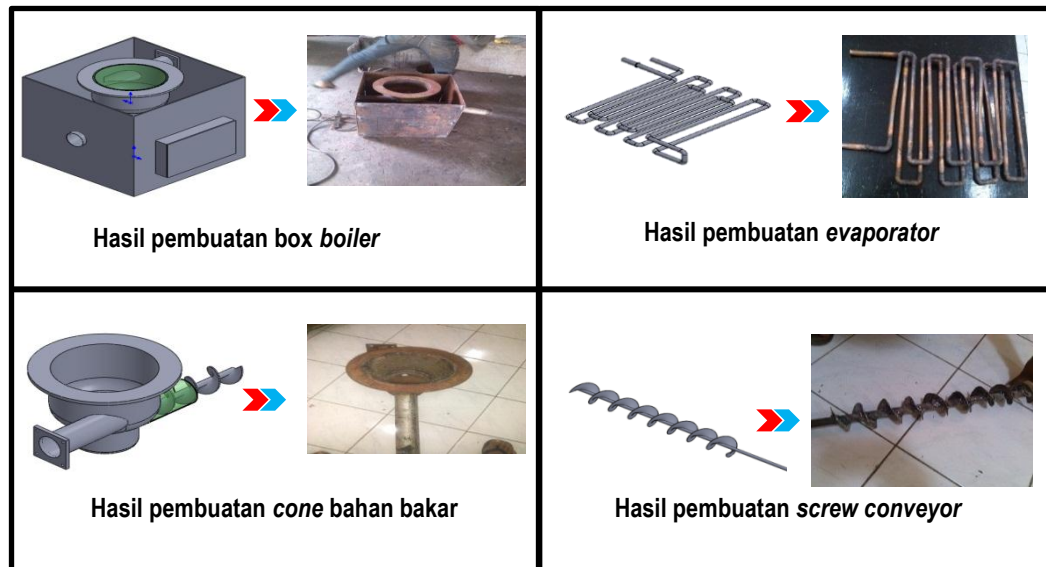
**Gambar 3.10.** Proses pengelasan komponen *boiler*

Proses selanjutnya adalah proses pelapisan. Dimana proses pelapisan merupakan proses isolasi *boiler* yang diperkirakan mengalami panas yang lebih dari setiap komponen. Pelapisan ini dilakukan dengan memberikan lapisan *glass wool* setebal 2 Inch dan ditambahkan alumunium foil pada lapisan paling luarnya. Sesuai dengan rancangan pada subbab 3.3.7. kemungkinan terjadi panas berlebih dapat terjadi pada komponen boiler bagian box atas, dikarenakan pada komponen box bagian atas merupakan bagian yang berkontak langsung dengan sumber panas oleh karenanya diperlukan isolasi yang lebih dibandingkan bagian yang lain.



**Gambar 3.11.** Pembuatan isolator pada *boiler*

Dalam meningkatkan efektifitas dari *boiler*, pembuatan *evaporator* diperpanjang dari hasil perhitungan. Pada perhitungan didapatkan panjang sebesar 4,45 m, dan untuk memperbesar nilai efeksititas dari *boiler* maka dibuatkan *evaporator* sepanjang 6 m yang termasuk didalamnya adalah toleransi akibat lekukan dan pipa yang keluar dinding *boiler*. Proses pembuatan *evaporator* tersebut dilakukan proses penekukan hingga sesuai dengan ruangan yang telah dibuat. Berikut merupakan ilustrasi komponen boiler yang telah dilakukan fabrikasi sesuai dengan rancangan yang telah dibuat.



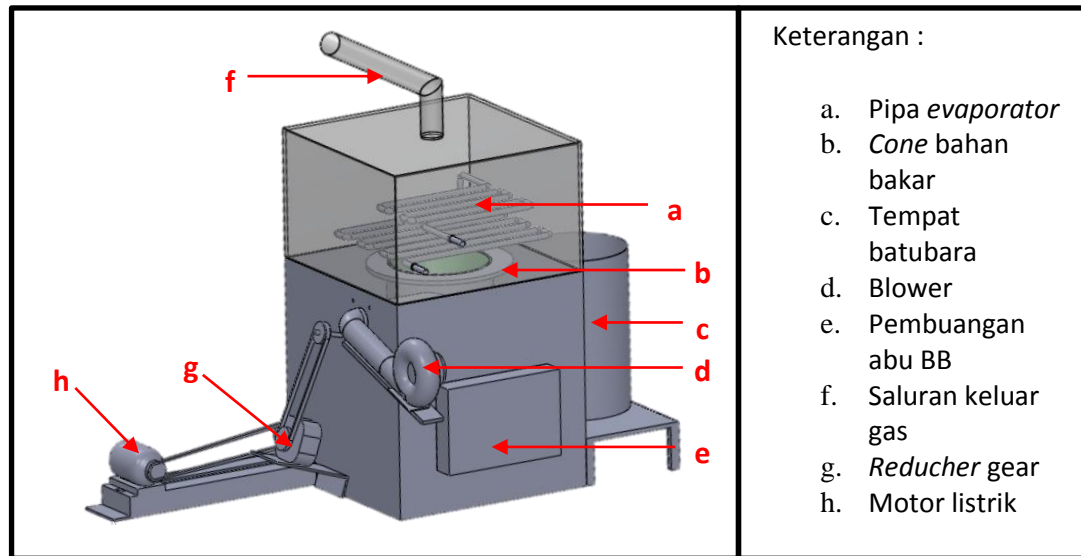
**Gambar 3.12.** Proses fabrikasi komponen *boiler*

### 3.5. Instalasi *boiler*

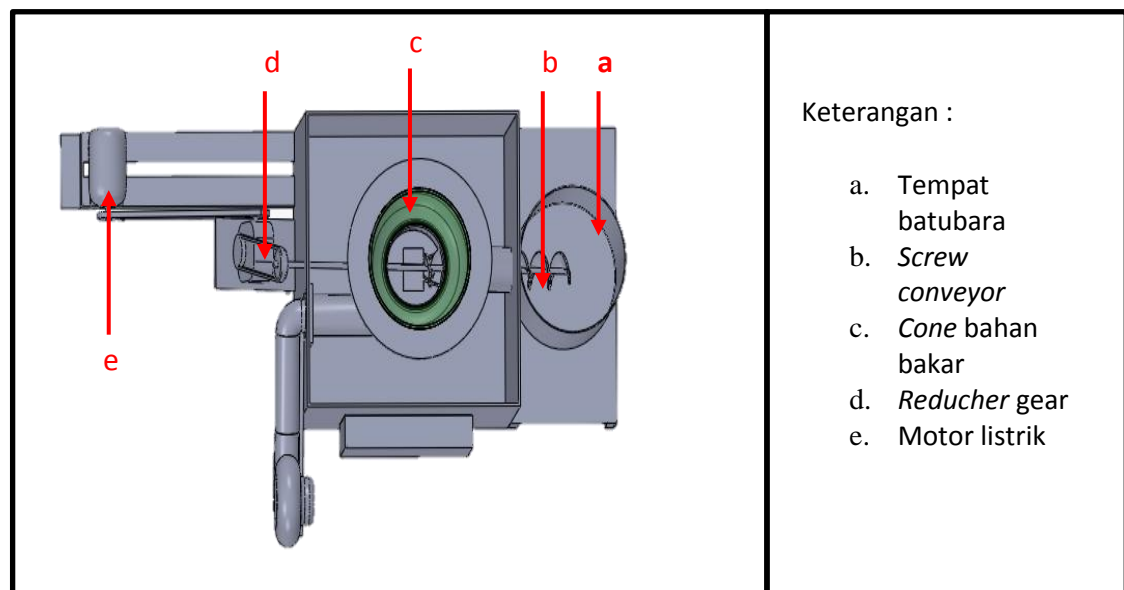
Setelah proses fabrikasi selesai, dilanjutkan dengan proses penggabungan bagian-bagian *boiler* menjadi satu komponen *boiler* yang utuh, sekaligus penginstalan komponen pendukung meliputi.

1. Satu buah *blower* yang terkopel dengan *regulator* pada bagian bahan bakar sebagai sumber udara masuk ruang bakar, dan fungsi dari *regulator* adalah sebagai proses variasi tegangan dari *blower*.
2. Satu buah pompa air yang terkopel dengan kran air pada sisi masuk *evaporator*.
3. Sensor suhu paada sisi bagian masuk dan sisi keluar fluida pada *evaporator* untuk mengetahui besar temperatur yang masuk dan keluar pada *evaporator* dan pada dinding *boiler*, untuk mengetahui distribusi temperatur yang dialami.

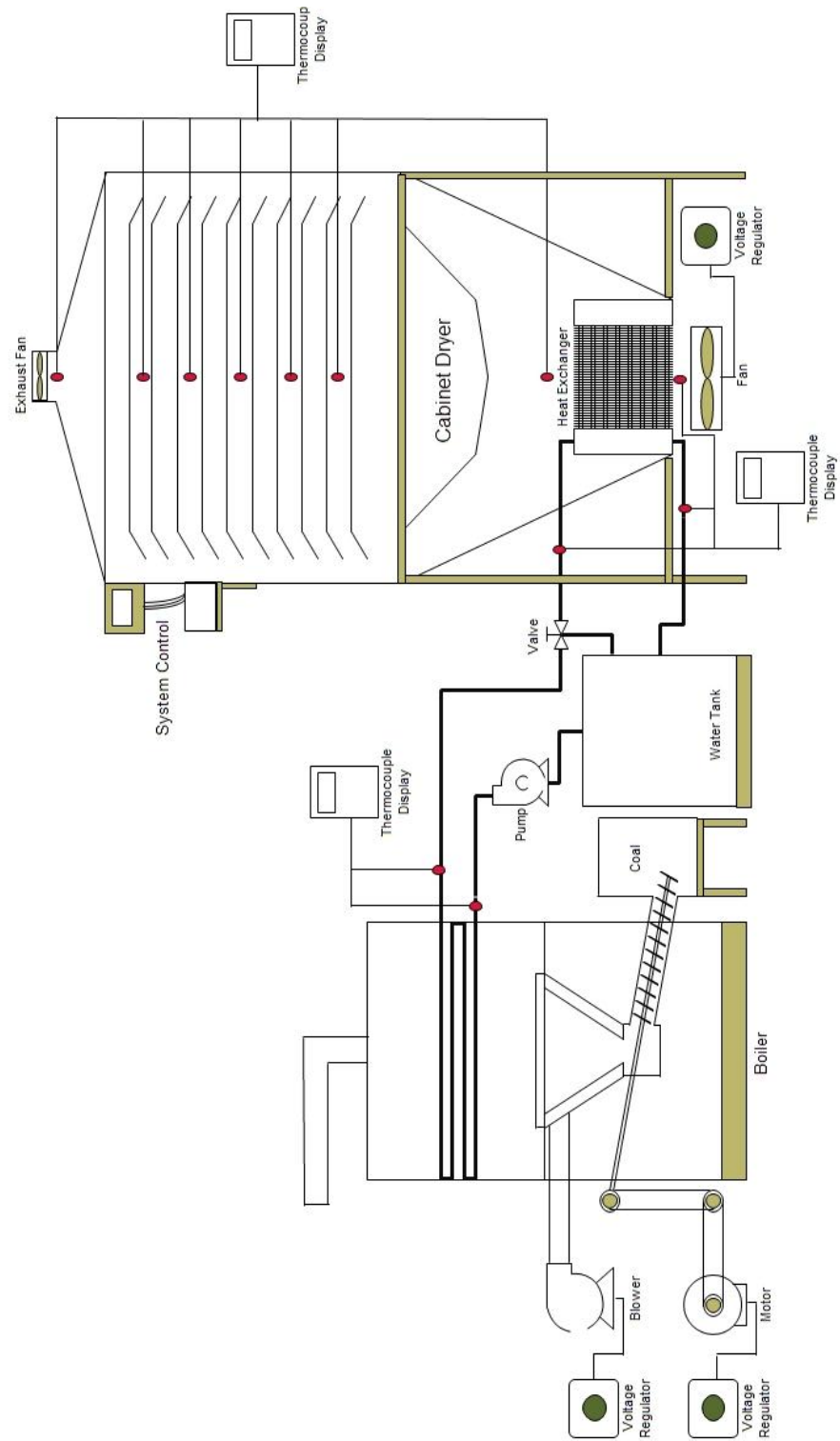
Untuk lebih jelas dapat dilihat pada ilustrasi komponen keseluruhan *boiler* pada gambar 3.13 dan 3.14 berikut.



**Gambar 3.13.** Skematik instalasi *boiler*



**Gambar 3.14.** Skematik pendistribusian bahan bakar



**Gambar 3.15.** Skematik pengujian keseluruhan mesin pengering kopi



### 3.6. Pengkondisian komponen

Setelah bagian-bagian *boiler* terinstal secara sempurna maka dilakukan kalibrasi komponen *boiler*. Adapun komponen yang perlu dikalibrasi adalah laju aliran air pompa terhadap bukaan katup serta laju aliran udara terhadap besarnya voltage yang diberikan *regulator*. Berikut merupakan hasil kalibrasi komponen yang telah dilakukan.

#### 3.6.1. Laju aliran udara (*Flowrate*)

Dalam pengambilan laju aliran udara pada blower digunakan *Anemometer* jenis AM-4200 Lutron digunakan untuk mengukur laju aliran udara (*flowrate*). Proses kalibrasi laju aliran udara ini ditujukan untuk menentukan besar aliran udara yang dihasilkan oleh blower yang digunakan untuk pengujian. Dimana blower yang digunakan adalah blower tipe keong dengan diameter 2,5 Inch. Proses kalibrasi laju aliran udara adalah dengan menghubungkan blower terhadap *voltage regulator* kemudian hidupkan blower dengan variasi tegangan yang diberikan pada *voltage regulator* dengan menempelkan *anemometer* pada saluran output blower, yang dijadikan nilai dari kalibrasi laju aliran udara.



**Gambar 3.16.** Proses pengkondisian laju aliran udara



**Tabel 3.7.** Nilai laju aliran udara pada blower

<b>Volt</b>	<b>Kecepatan (m/s)</b>	<b>Debit (m<sup>3</sup>/Jam)</b>
75	12.1	137.8674
100	15.4	175.4676
125	16.1	183.4434
150	16.3	185.7222
175	16.4	186.8616
200	16.5	188.001
220	17.8	202.8132

Pada tabel 3.7 di atas merupakan tabel penambahan laju aliran udara pada blower, dalam pengambilan data pertambahan laju aliran udara tersebut terhitung pada anemo meter adalah dalam satuan m/s, untuk merubah kecepatan (m/s) menjadi debit (m<sup>3</sup>/Jam) pada blower berdiameter 2,5 Inch menggunakan perhitungan berikut.

$$\begin{aligned}
 A &= \pi . r^2 \\
 &= \pi . (0.03175 \text{ m})^2 \\
 &= 0.003165 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= v . A \\
 &= 12,1 \text{ m/s} . 0,003165 \text{ m}^2 \\
 &= 0,0383 \text{ m}^3 / \text{s} \\
 &= 137,8674 \text{ m}^3 / \text{Jam}
 \end{aligned}$$

Perhitungan di atas digunakan untuk setiap pengukuran kecepatan yang dihasilkan oleh blower.

### 3.6.2. Laju aliran air pada pompa

Pengambilan kalibrasi laju aliran pompa digunakan untuk mengetahui besar laju aliran air yang dihasilkan oleh pompa, yang kemudian digunakan untuk pengujian sesuai dengan perancangan. Prosedur pengambilan data kalibrasi laju

aliran pompa adalah dengan menghubungkan pompa dengan *voltage regulator* kemudian pada saluran output pompa dihubungkan pula dengan *flowmeter* yang terhubung pada program arduino yang mencatat besar laju aliran air yang mengalir pada pompa. Berikut merupakan hasil kalibrasi laju aliran pompa yang dilakukan.



**Gambar 3.17.** Proses pengkondisian laju aliran air

**Tabel 3.8.** Nilai laju aliran air pada pompa

No	Volt	Debit (lt/menit)
1	200	13
2	175	12
3	150	11
4	125	10
5	100	7
6	90	6
7	80	4
8	75	3

Pengambilan laju aliran air dilakukan untuk setiap penambahan tegangan yang diberikan kepada pompa ditujukan untuk mengetahui besar laju aliran yang dihasilkan oleh pompa, sehingga ideal digunakan pada *boiler* untuk dilakukan pengambilan data.

### 3.6.3. Laju aliran bahan bakar

Proses pengambilan laju aliran bahan bakar dilakukan digunakan untuk mengetahui besar bahan bakar yang dapat didistribusikan oleh *screw conveyor* kedalam ruang bakar. Prosedur pengkalibrasian laju aliran bahan bakar adalah dengan memasukan batubara sebesar 1kg kedalam ruang bakar menggunakan *screw conveyor* dan dilakukan pencatatan lama waktu pendistribusian yang berlangsung selama proses berlangsung. Berikut merupakan tabel hasil kalibrasi laju aliran bahan bakar yang dilakukan.



**Gambar 3.18.** Proses pengkondisian laju aliran bahan bakar

**Tabel 3.9.** Nilai laju aliran bahan bakar pada *screw conveyor*

No	Berat BB (kg)	Waktu distribusi	Laju aliran (Kg/s)
1	1	2 menit 16 detik	0.007353
2	1	2 menit 19 detik	0.007194
3	1	2 menit 17 detik	0.007299
Rata rata laju aliran			0.007282

Tabel 3.9 di atas menunjukkan bahwa laju aliran bahan bakar (batubara) yang dapat didistribusikan kedalam ruang bakar adalah sebesar 0,007 kg/s yang merupakan laju aliran bahan bakar yang sesuai dengan perancangan pada subbab 3.3.3. sebelumnya.

### **3.7. Pengujian**

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan apakah semua fungsi sistem bekerja dengan baik dan mencari kesalahan yang mungkin terjadi pada system. Secara garis besar pengujian pada *boiler* dilakukan untuk menentukan laju pertambahan temperatur air yang dihasilkan oleh *boiler* dengan variasi laju aliran udara yang diberikan kedalam sistem.

### **3.8. Komponen pendukung**

Komponen pendukung merupakan komponen tambahan yang digunakan dalam penelitian baik yang terhubung langsung maupun komponen yang tidak terhubung langsung, adapun komponen pendukung tersebut meliputi *regulator* tegangan, *blower*, pompa air, *stopwatch*, termokopel, timbangan digital, bahan bakar dan bak penampungan air. Untuk lebih jelas dapat dijelaskan secara rinci sebagai berikut.

#### **3.8.1. Voltage regulator**

Dalam pengambilan data penelitian dibutuhkan satu buah *regulator* 0-250V yang terhubung langsung dengan *blower*. Fungsi dari *regulator* adalah untuk memvariasikan tegangan *blower* untuk mendapatkan beda laju aliran udara

dan debit udara pada sisi bagian masuk *boiler*. Tujuan *regulator* adalah untuk mengetahui karakteristik yang terjadi akibat beda laju aliran udara dan debit udara terhadap temperatur keluaran *boiler*, bentuk identik dari *regulator* dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 3.19.** *Voltage regulator*

### **3.8.2. Blower**

Untuk terjadinya pembakaran dibutuhkan udara yang cukup, oleh karenanya dibutuhkan *blower* sebagai sumber udara pada *boiler*. *Blower* yang digunakan pada *boiler* ini adalah *blower* dengan diameter *output* 2,5 Inch tegangan 220/110, rpm 3000/3600 dan debit aliran udara sebesar  $390 \text{ m}^3/\text{h}$ . Untuk lebih jelas bentuk dari *blower* dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 3.20.** *Blower*

### 3.8.3. Pompa air

Untuk mengalirkan air pada *evaporator* dibutuhkan pompa sebagai pengalir paksa air pada *evaporator*, pada penelitian ini pompa yang digunakan adalah pompa sanyo berdaya listrik 125 watt, daya hisap dan daya dorong masing-masing 3,5 m, dengan kapasitas maksimum 20 liter/menit. Pada penelitian ini pompa terkopel langsung dengan katup air yang berfungsi sebagai variasi bukaan katup untuk mengetahui karakteristik yang terjadi pada *boiler*, dan memungkinkan juga pompa ini terhubung dengan *regulator* untuk memvariasikan tegangan pompa agar debit dan laju pompa dapat diatur sesuai dengan perancangan. Untuk lebih jelas bentuk dari pompa yang digunakan pada penelitian ini, dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 3.21.** Pompa

### 3.8.4. Stopwatch

Dalam pengambilan data, *stopwatch* ini digunakan untuk mengukur durasi waktu yang terjadi pada setiap rentan pengujian yang dilakukan, seperti distribusi

temperatu pada dinding dan sebagainya. Adapun ilustrasi *stopwatch* dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 3.22.** *Stopwatch*

(Sumber : [www.curlerscorner.com](http://www.curlerscorner.com). Diakses pada 4 Mei 2014)

### 3.8.5. Timbangan

Timbangan pada penelitian ini digunakan untuk mengukur berat dari bahan bakar yang digunakan untuk kerja *boiler*, serta berat abu yang dihasilkan setelah pembakaran, sehingga dapat diperhitungkan rugi-rugi dan efisiensi penggunaan bahan bakar pada *boiler*. Adapun gambaran fisik dari timbangan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.



**Gambar 3.23.** Timbangan

### 3.8.6. Termokopel

Termokopel ini berfungsi sebagai pengukur temperatur yang terjadi pada penelitian seperti distribusi temperatur pada dinding *boiler*, kemudian besar

temperatur sisi masuk dan keluar *evaporator*, sehingga didapatkan data yang lebih akurat pada penelitian ini. Jenis termokopel yang digunakan pada penelitian ini adalah thermometer tipe TM-902C temperatur maksimal 1300°C. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 3.24.** Termokopel

#### **3.8.7. Bahan bakar**

Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini adalah batubara kelas bituminous, karena batubara kelas bituminous merupakan jenis batubara yang paling sering ditemui di Lampung, selain itu batubara jenis bituminous memiliki nilai kalor yang tidak kalah dibandingkan dengan batubara jenis anthracite



**Gambar 3.25.** Batubara bituminous  
(Sumber : karbon.indonetwork.co.id. Diakses pada 7 Mei 2014)



### 3.8.8. Bak penampungan air

Air yang selalu bersirkulasi pada *evaporator* memerlukan sumber penampungan yang tetap dan dapat terjaga jumlah air yang dibutuhkan, oleh karenanya dibutuhkan bak penampung air yang mampu menampung air umpan sebelum masuk kedalam *evaporator* agar fungsi dari *boiler* lebih baik. Adapun bak penampungan air umpan pada *boiler* dapat dilihat pada gambar 3.16 berikut.



**Gambar 3.26.** Bak penampung air umpan

## 3.9. Prosedur percobaan

Dalam prosedur percobaan dilakukan beberapa tahapan hingga memperoleh data hasil percobaan, adapun prosedur percobaan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

### 3.9.1. Persiapan perlengkapan

Persiapan perlengkapan meliputi persiapan bahan bakar, persiapan air umpan, serta penginstalan bagian-bagian *boiler* menjadi satu kesatuan yang utuh. Pada persiapan bahan bakar dilakukan untuk mengkondisikan bahan bakar batubara hingga memiliki ukuran yang seragam sebesar  $3\text{cm}^2$ , dimensi tersebut ditujukan agar dapat dengan mudah masuk melalui *screw conveyor* hingga ruang

bakar. Prosesnya dengan memecahkan batubara dengan menggunakan pemukul hingga keseluruhan batubara memiliki dimensi yang seragam.

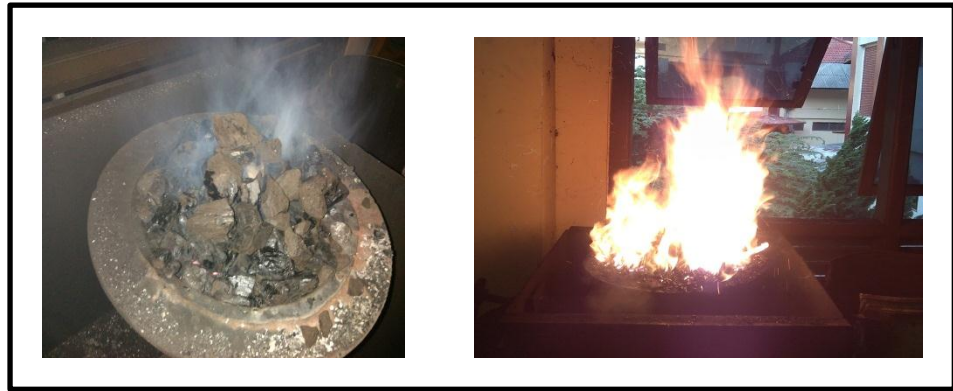
Pada pengkondisian air umpan adalah dengan menyiapkan air umpan kedalam sebuah drum penampung air yang airnya selalu diisikan menggunakan selang yang terhubung dengan kran sumber air, serta menginstalasi pompa dengan *evaporator* dengan mengkondisikan laju aliran air pada pompa sebesar 3liter/menit.

### **3.9.2. Pembakaran awal**

Oleh karena dalam proses pembakaran batubara membutuhkan panas awal yang besar, maka dalam pembakaran awal pada penelitian ini adalah dengan membakar arang terlebih dahulu hingga menjadi bara api, kemudian baru dimasukan di atasnya batubara. Hal tersebut dilakukan karena dalam pembakaran arang membutuhkan panas yang kecil dibandingkan batubara. Berikut meruakan prosedur yang dilakukan.

1. Masukan arang kedalam cone penampung bahan bakar, kemudian berikan sedikit solar untuk mempercepat pembakaran, lalu bakar arang tersebut menggunakan korek api.
2. Menghidupkan blower, hal ini dilakukan agar proses pembakaran dapat berlangsung secara cepat menjadi bara api.
3. Mematikan blower ketika arang telah menjadi bara keseluruhan.
4. Mamasukan batubara sedikit demi sedikit kedalam cone bahan bakar hingga cone bahan bakar terisi penuh dengan batubara.

5. Menghidupkan blower kembali untuk mempercepat rambatan temperature antara arang dengan batubara, diamkan hingga batubara terbakar keseluruhan.



**Gambar 3.27.** Persiapan awal bahan bakar

Pada saat pembakaran awal setelah batubara dimasukan kedalam cone bahan bakar, akan menghasilkan asap putih, hal tersebut terjadi karena merupakan proses awal batubara yang berusaha untuk terbakar. Jika api pada batubara terbentuk maka asap putih tersebut akan hilang. Pada proses pembakaran awal ini diharapkan operator menggunakan masker, untuk menjaga agar asap batubara tidak langsung terhirup kedala saluran pernafasan.

### **3.9.3. Pengukuran temperatur keluar air**

Sebelum dilakukan pengukuran temperature *output* air, dilakukan persiapan komponen terlebih dahulu, yaitu dengan menginstal box bagian atas *boiler* yang terdapat *evaporator* di dalamnya sertamenyiapkan 2 termokopel yang terpasang pada saluran masuk *boiler* dan saluran keluar. Berikut merupakan prosedur pengukuran temperature *output* air.

1. Menginstal box bagian atas *boiler* yang di dalamnya terdapat *evaporator* yang telah tekopel dengan saluran keluar dari pompa, sedangkan saluran *output evaporator* langsung dialirkan keluar system, sehingga air *output evaporator* tidak digunakan lagi pada proses pemanasan.
2. Menginstal termokopel pada bagian *input* dan *output* pada *boiler*.
3. Menghidupkan pompa dengan besar tegangan pada *voltage regulator* sebesar 75V.
4. Menghidupkan blower dengan variasi tegangan sebesar 75V, dimana jika blower dihidupkan maka udara akan dimasukkan kedalam ruang bakar, sehingga batubara yang telah dilakukan pemanasan awal akan menyala kembali. Hal ini menandakan proses perpindahan panas antara batubara yang terbakar dengan air yang mengalir telah berlangsung.
5. Mencatat pertambahan temperature yang terjadi pada pengujian dengan rentang waktu selama 10 detik.

#### **3.9.4. Pengulangan pengujian**

Pengulangan pengujian dilakukan dengan melakukan proses pengujian dari pembakaran awal hingga pengukuran temperature *output* air, yang membedakan dari pengujian sebelumnya adalah besar *voltage* yang diberikan blower, sebesar 150V dan 220V sehingga besar udara yang diberikan kedalam system berbeda dengan pengujian sebelumnya. Besar udara yang diberikan blower kedalam system akan mempengaruhi proses pembakaran yang terjadi, sehingga akan berpengaruh pula dengan laju pertambahan temperature yang terjadi.