

BAB IV

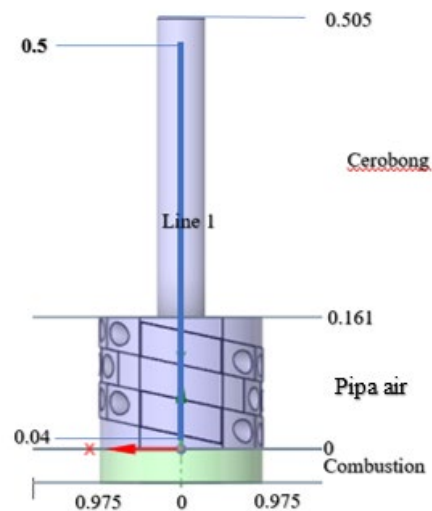
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil dan Analisis Simulasi pada Pipa Api

Bagian ini menjelaskan tentang hasil dan analisis dari simulasi yang telah dilakukan. Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan bentuk pipa api dengan memodifikasi jumlah dan sudut pipa air terhadap distribusi aliran udara dan *Heat flux* pada bagian pipa air.

Pemilihan modifikasi sudut pipa air ini didasari dengan melihat bentuk geometri eksisting, dimana penggunaan pipa akan membuat ruang alir antara gas inlet dengan pipa air lebih berjauhan dan juga kemampuan distribusi aliran udara tidak terjadi karena aliran udara sedikit kontak dengan pipa air. Sedangkan penggunaan sudut $1^\circ, 3^\circ, 5^\circ$ dan penambahan jumlah pipa air akan membuat aliran gas pembakaran memiliki luas permukaan kontak yang lebih besar.

Untuk mempermudah dalam analisis hasil simulasi ini, pengambilan kontur dilakukan pada sumbu XY. Sedangkan data berupa grafik diperoleh dari *line section* secara vertikal dengan titik koordinat. Gambar 4.1 menunjukkan skematik pengambilan kontur dan data grafik simulasi.



Gambar 4. 1 Gambar bagian bagian pipa api

Line 1 akan digunakan dalam pengambilan data berupa grafik *line* terhadap tinggi pipa api, data yang akan berdasar pada *line* 1 adalah Kecepatan udara.

4.2 Pembahasan Hasil dan Analisis pada pipa api boiler

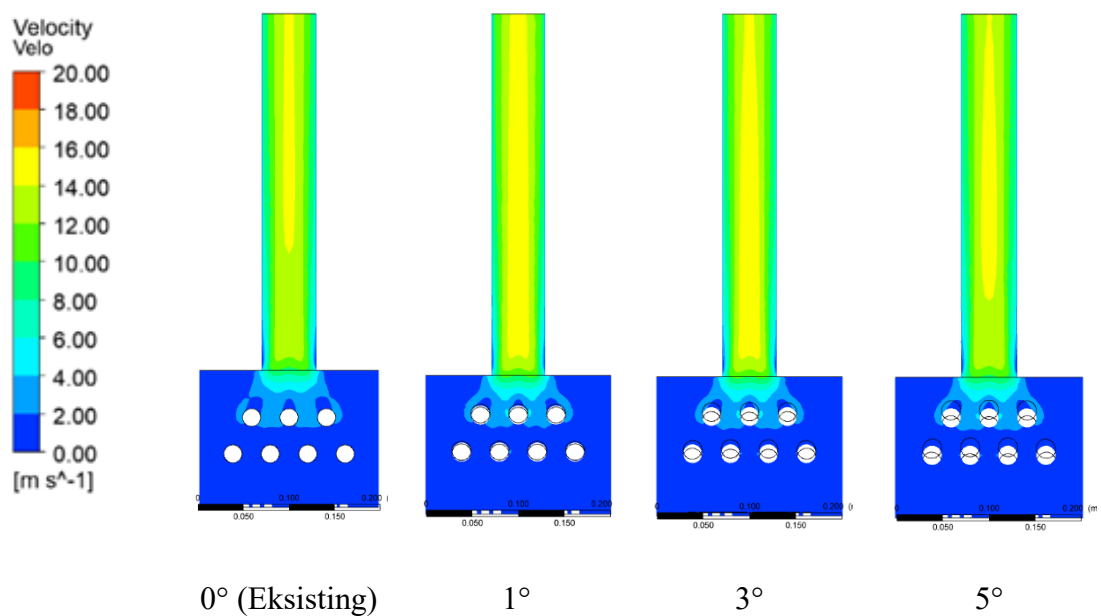
Bagian ini menjelaskan isi pokok pembahasan hasil dan analisis dari simulasi yang telah dilakukan. Isi pokok pembahasan mengenai distribusi aliran udara. Untuk mempermudah dalam pembahasan hasil simulasi ini, pembahasan dilakukan berdasarkan urutan variasi, yaitu dari pengaruh kemiringan pipa pada 7 pipa air, pengaruh kemiringan pipa pada 11 pipa air, dan pengaruh jumlah pipa air terhadap masing masing kemiringan. Isi pokok pembahasan hasil simulasi terdiri sebagai berikut.

4.3 Hasil simulasi Variasi pipa api dengan modifikasi jumlah dan sudut

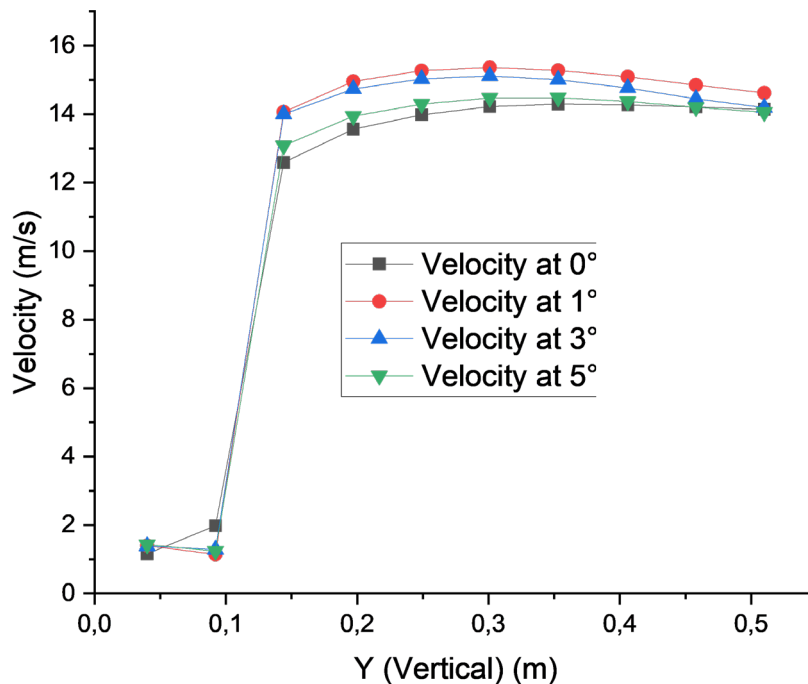
4.3.1 Distribusi kecepatan udara

hubungan antara kecepatan aliran udara di berbagai posisi dalam sistem. Dalam konteks perpindahan panas, kecepatan yang lebih rendah cenderung lebih menguntungkan karena memungkinkan gas memiliki waktu lebih lama untuk mentransfer energi panasnya ke dinding ruang bakar atau penukar panas (Silviana, S. & Yeremia, S., 2022). Berikut adalah perbandingan kontur kecepatan udara terhadap kemiringan dan penambahan jumlah pipa air :

1. Perbandingan Konturkecepatan udara terhadap sudut kemiringan pada jumlah 7 pipa air



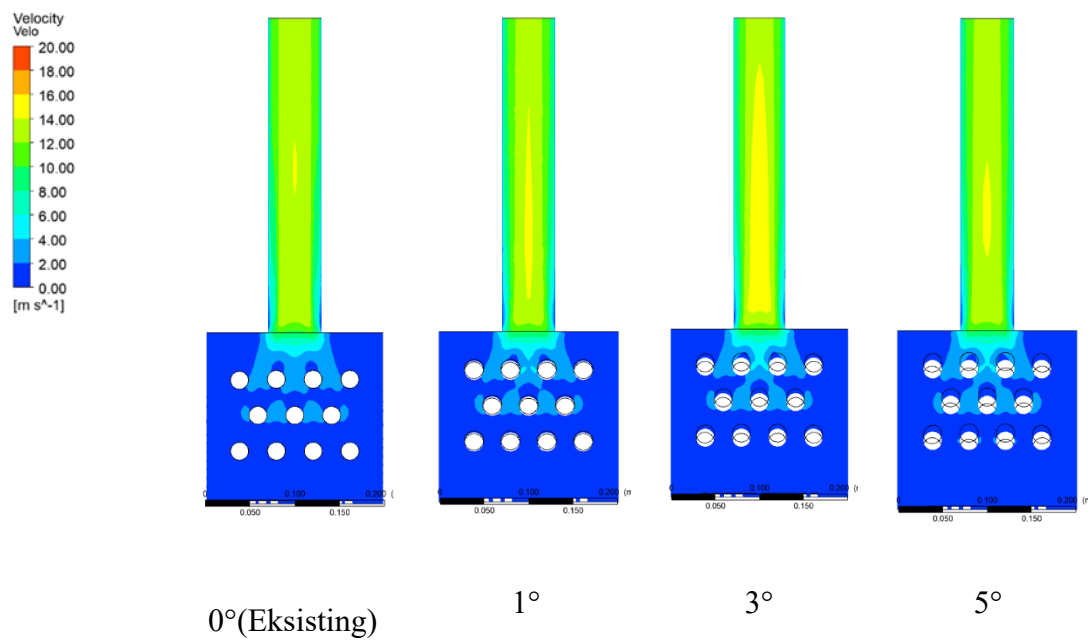
Gambar 4. 2 Perbandingan kontur kecepatan udara panas pada *boiler laundry* dengan 7 pipa air pada berbagai kemiringan pipa air



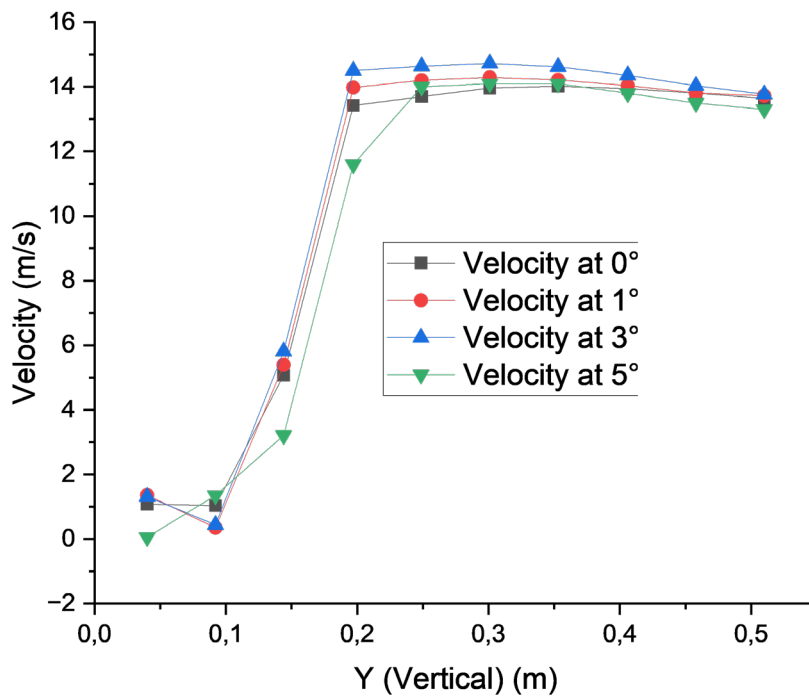
Gambar 4. 3 Perbandingan grafik kecepatan udara panas pada *boiler laundry* dengan 7 pipa air pada berbagai kemiringan pipa air

data pipa air kemiringan 0° dengan jumlah 7 pipa menunjukkan kecepatan yang lebih tinggi, yang mencerminkan zona utama aliran gas panas (*core flow*), di mana perpindahan panas bisa kurang efisien karena waktu tinggal yang lebih singkat. Dari sisi keamanan outlet, kecepatan tinggi dapat menyebabkan keausan pada pipa cerobong dan meningkatkan risiko turbulensi yang tidak diinginkan. Diketahui juga dari kontur diatas kecepatan udara yang terbaik pada jumlah 7 pipa air adalah variasi 5° dimana kecepatan di ketinggian 0 – 0.2 m (letak air) cenderung rendah sehingga memungkinkan pertukaran kalor yang cukup.

2. Perbandingan Kontur *kecepatan udara* terhadap sudut kemiringan pada jumlah 11 pipa air



Gambar 4. 4 Perbandingan kontur kecepatan udara panas pada *boiler laundry* dengan 11 pipa air pada berbagai kemiringan pipa air

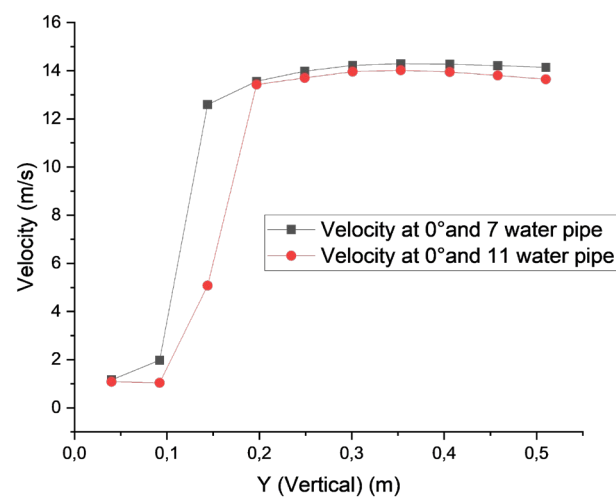


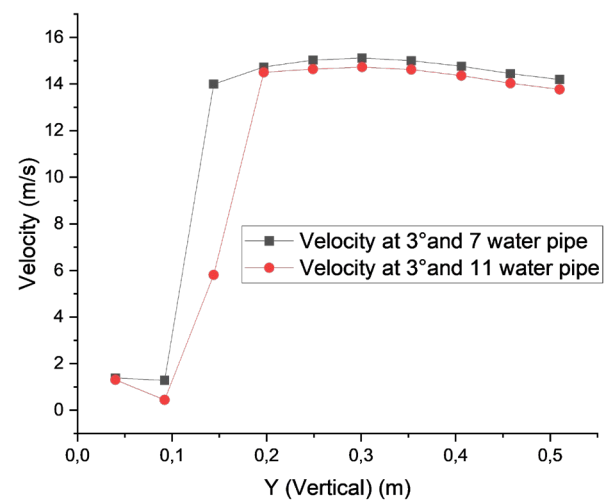
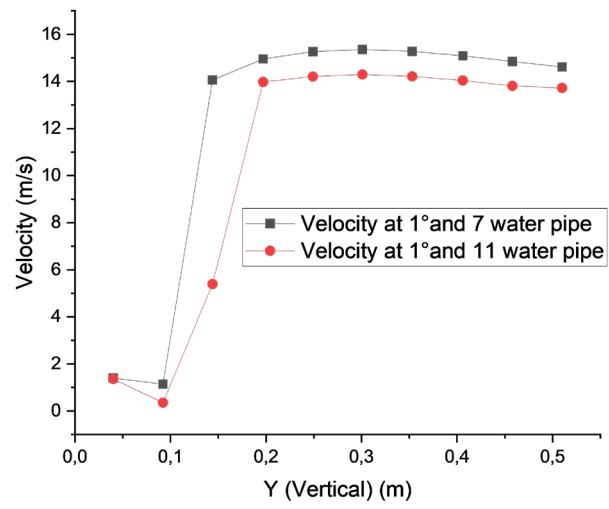
Gambar 4. 5 Perbandingan grafik kecepatan udara panas pada *boiler laundry* dengan 11 pipa air pada berbagai kemiringan pipa air

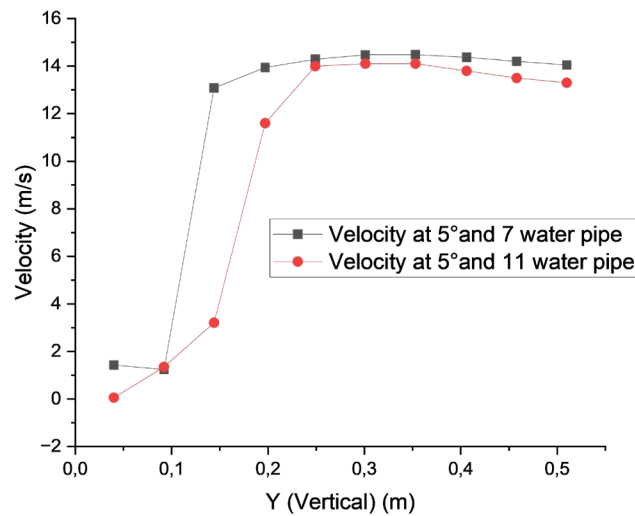
Grafik "5° (11pipa)" menunjukkan kecepatan yang lebih rendah, yang mencerminkan zona utama aliran gas terdistribusi dengan baik. di mana perpindahan panas efisien karena waktu tinggal yang lebih singkat. Dari sisi keamanan outlet, kecepatannya lebih rendah dibanding variasi lain. Diketahui juga dari kontur diatas kecepatan udara di ketinggian 0 – 0.2 m (letak air) cenderung rendah sehingga memungkinkan pertukaran kalor yang cukup.

3. Pengaruh jumlah pipa terhadap kecepatan udara panas pada berbagai variasi sudut kemiringan dan jumlah pipa air

Berikut adalah pengaruh penambahan pipa terhadap kecepatan udara masing masing kemiringan:



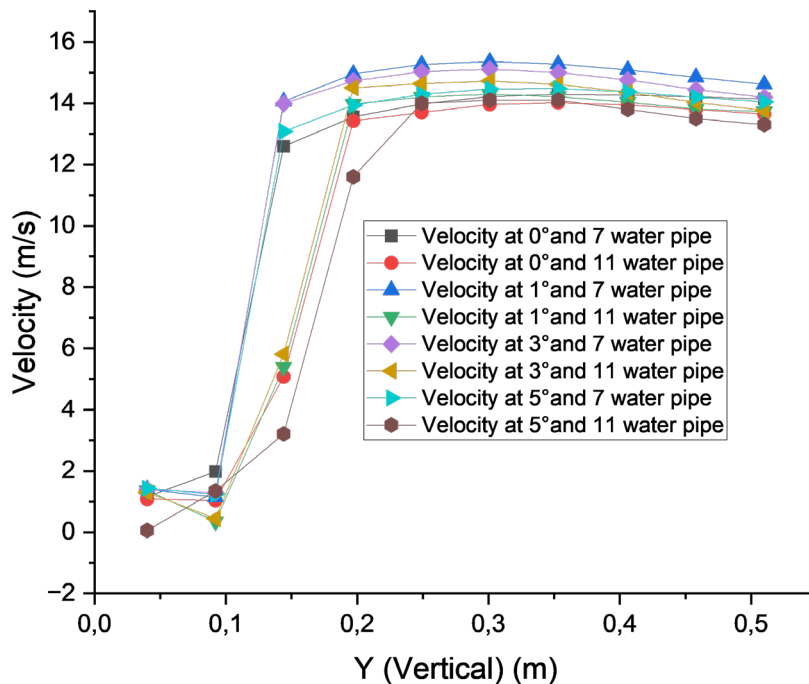




Gambar 4. 6 Perbandingan grafik kecepatan udara panas pada masing masing variasi sudut kemiringan pada jumlah pipa air

Diketahui dari grafik pengaruh penambahan pipa terhadap *kecepatan udara* masing masing kemiringan, bahwa kecepatan udara pada pipa 11 mengalami penurunan dibanding 7 pipa air, dengan demikian pertukaran kalor dapat bekerja dengan maksimal (Silviana, S. & Yeremia, S., 2022).

Pengaruh modifikasi jumlah pipa air dan sudut pipa air terhadap distribusi aliran udara yang direpresentasikan dengan profil kecepatan ditunjukkan pada Gambar 4.7



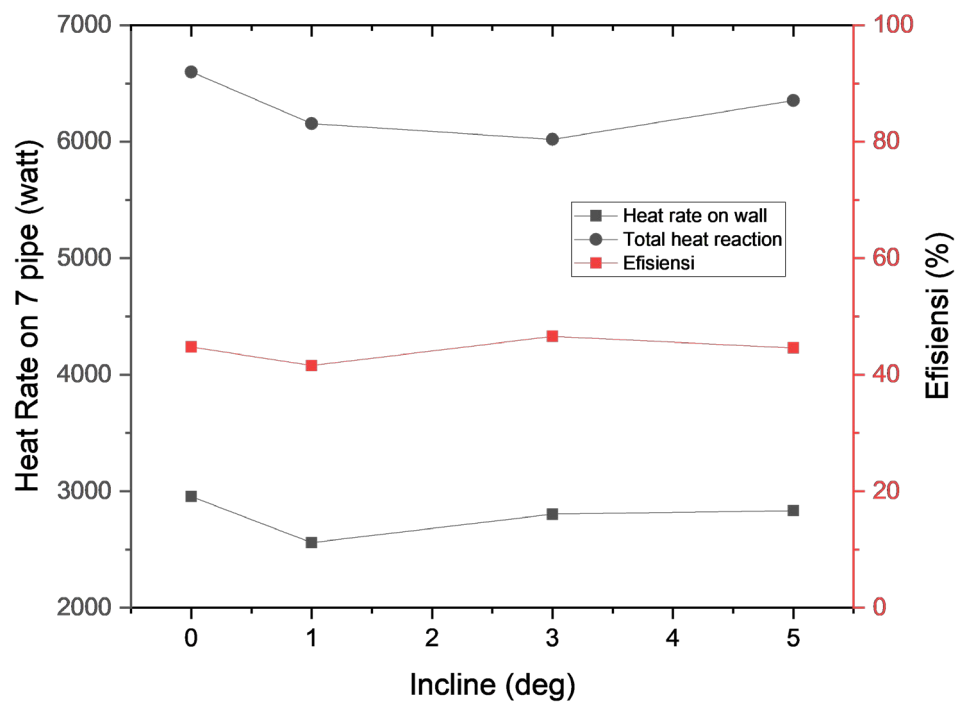
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Kecepatan udara panas antara variasi kemiringan pipa dan jumlah pipa

Berdasarkan grafik, terlihat bahwa modifikasi jumlah dan sudut pipa memberikan variasi nyata terhadap kecepatan aliran udara, khususnya pada rentang Y vertikal 0–0,25 m (letak air). Konfigurasi dengan **5° (7 pipa)**, **3° (7 pipa)** serta **1° (7 pipa)** menunjukkan peningkatan kecepatan yang lebih tajam di awal, yang mengindikasikan aliran udara naik terlalu cepat sehingga waktu kontak panas dengan pipa berkurang. Sebaliknya, konfigurasi **1° (11 pipa)**, **3° (11 pipa)** menunjukkan kecepatan rendah. Dan pada konfigurasi **5° (11 pipa)** menghasilkan penurunan kecepatan yang paling lambat dan bertahap di zona bawah, yang lebih menguntungkan untuk proses perpindahan panas karena memungkinkan aliran panas lebih lama bersentuhan dengan pipa (Silviana, S. & Yeremia, S., 2022). Hal ini menunjukkan bahwa jumlah pipa yang banyak dan sudut besar cenderung

membantu memperlambat aliran di zona kritis dan meningkatkan efisiensi penyerapan panas.

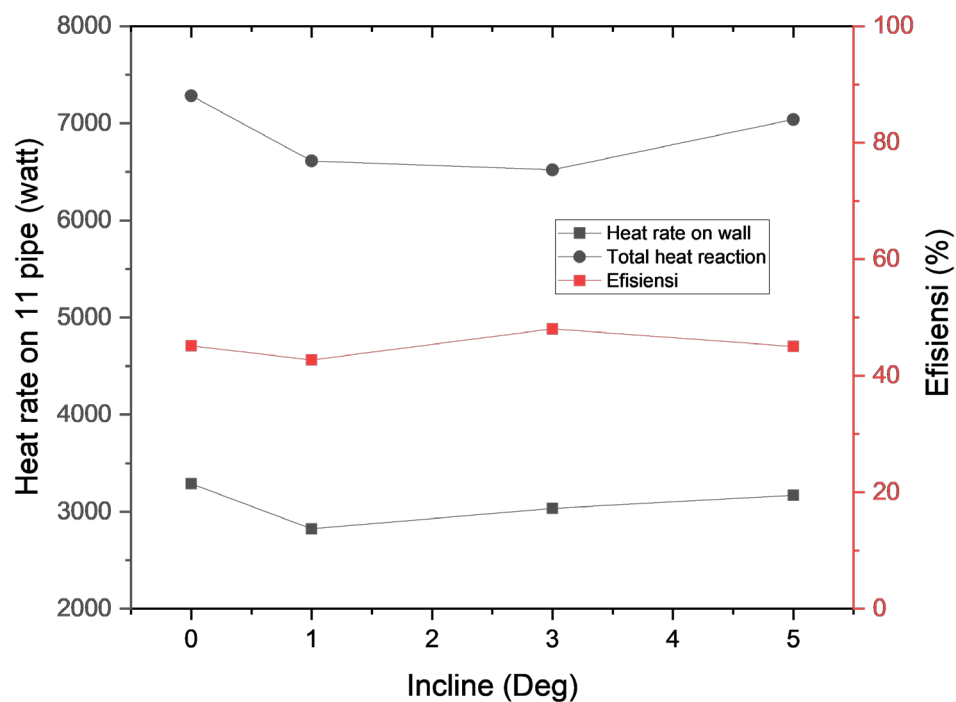
4.3.2 Efisiensi Heat rate

Grafik berikut menyajikan perbandingan total heat rate berdasarkan hasil simulasi menggunakan Ansys pada seluruh pipa api termasuk bagian pipa air, yang bertujuan untuk mengevaluasi kinerja perpindahan panas pada masing-masing variasi desain atau kondisi operasi



Gambar 4. 8 Grafik total *Heat rate* dan *Heat Reaction* terhadap variasi sudut pada 7 pipa

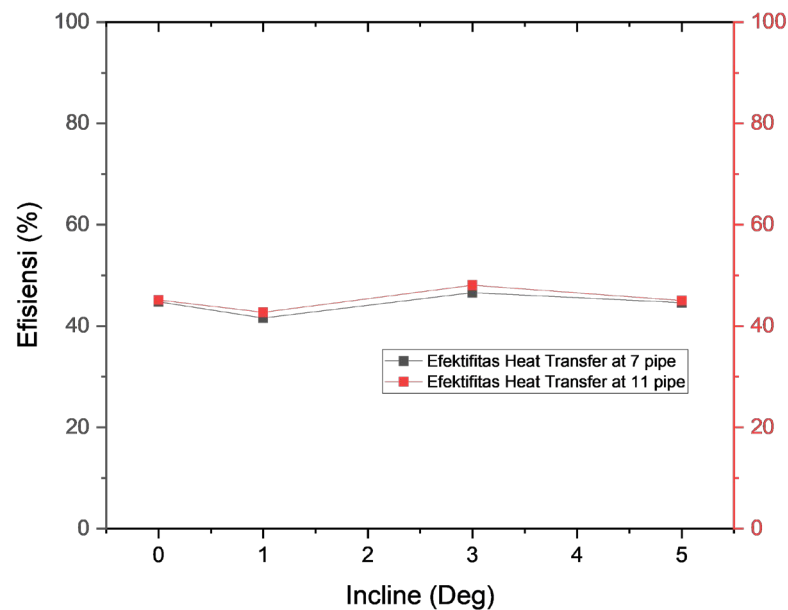
Berdasarkan hasil simulasi, nilai heat of reaction cenderung stabil pada kisaran 6500 Watt meskipun sudut kemiringan pipa bervariasi. Sementara itu, heat rate pada dinding dan efisiensi perpindahan panas mengalami sedikit fluktuasi, dengan nilai tertinggi terjadi pada sudut kemiringan terkecil yaitu 0° dengan nilai 2955 Watt disusul 5° dengan nilai 2923 Watt



Gambar 4. 9 Grafik total *Heat rate* dan *Heat Reaction* terhadap variasi sudut pada 11 pipa

Berdasarkan hasil simulasi, nilai heat of reaction cenderung stabil pada kisaran diatas 6500 Watt meskipun sudut kemiringan pipa bervariasi. Sementara itu, heat rate pada dinding dan efektivitas perpindahan panas mengalami sedikit fluktuasi, dengan nilai tertinggi terjadi pada sudut kemiringan terkecil yaitu 1° dengan nilai 3170 Watt disusul 0° dengan nilai 3150 Watt dari kedua jumlah pipa ini sudah sesuai dengan prinsip semakin luas permukaan semakin tinggi heat rate ke dinding (Sukarin, Janthong & Thongwik, 2022).

Dengan demikian kita dapat membandingkan perubahan sudut kemiringan dan juga penambahan pipa air terhadap efektivitas perpindahan kalor seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.10 berikut:

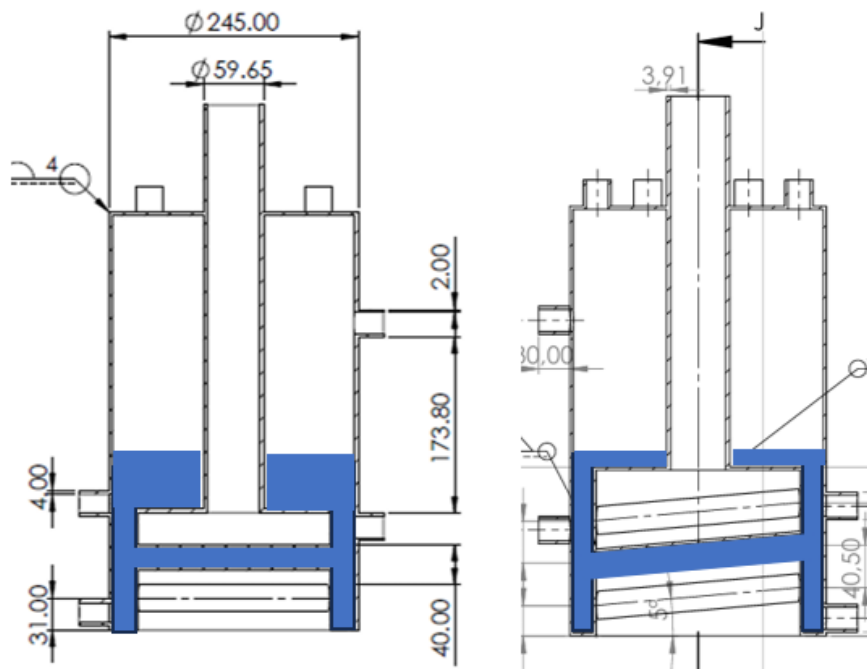


Gambar 4. 10 Grafik efektifitas *Heat rate* terhadap *Heat Reaction*

Pemiringan pipa memiliki sedikit pengaruh pada heat rate total sedangkan penambahan pipa terbukti dapat meningkatkan heat rate sebesar 2 – 3 % dari heat rate 7 pipa.

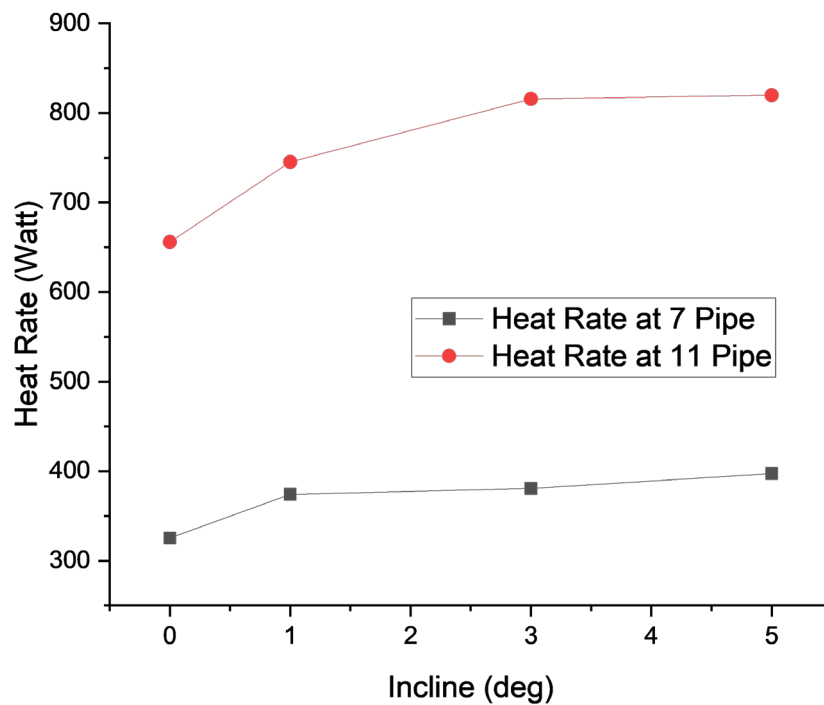
4.3.3 *Heat rate* pada pipa air

Gas hasil pembakaran (panas) mentransfer panas ke dinding pipa air, dan kemudian panas tersebut ditransfer ke air di dalam pipa. laju panas dinding (Wall Heat rate) mengacu pada panas yang melewati dinding pipa. Karena gas hasil pembakaran memiliki suhu yang jauh lebih tinggi daripada air di dalam pipa, panas akan mengalir dari gas, melalui dinding pipa, dan masuk ke air.



Gambar 4. 11 Ilustrasi letak air pada boilet laundry

Karena pipa air memiliki kontak langsung dengan gas hasil pembakaran dan air didalam boiler kita harus memaksimalkan luas penampang perpindahan panas pada pipa air ini. Berikut adalah perbandingan kontur Heat Flux terhadap kemiringan dan penambahan jumlah pipa air :



Gambar 4. 12 Grafik Heat rate terhadap variasi sudut dan jumlah pipa air

Dibandingkan dengan semua variasi yang ada Variasi kemiringan 5° (11 pipa) memiliki total heat rate tertinggi, dikarenakan mempunyai permukaan pipa air yang paling banyak dan memungkinkan pertukaran panas yang maksimal sehingga proses pembentukan uap air di pipa air akan terjadi lebih cepat karena pipa air menerima kalor yang lebih banyak dari pada variasi lainnya (Silviana, S. & Yeremia, S., 2022).

4.4 Eksperimen Uji Fungsi Modifikasi final dan perhitungan

Berikut adalah data hasil uji fungsi yang dilakukan pada model boiler eksisting (Variasi 0° dan 7 pipa air) dan model modifikasi (Variasi 5° dan 11 pipa air). Dalam percobaan diambil titik pengukuran sesuai dengan gambar 3.38 yaitu T1 sampai dengan T5.

4.4.1 Data Boiler Eksisting (Variasi 0° dan 7 pipa air)

Berikut ini adalah hasil eksperimen dari kondisi eksisting (Variasi 0° dan 7 pipa air)

Tabel 4. 1 Data eksperimen boiler eksisting (Variasi 0° dan 7 pipa air)

Pengambilan Data Pengujian Boiler Laundry								
NO	Percobaan 1	Temperatur					Berat Gas	Waktu
		T1 (SISI LUAR BAWAH)	T2 (SISI LUAR TENGAH)	T3 (SISI LUAR ATAS)	T4 (SISI DALAM ATAS)	T5 (SISI DALAM BAWAH)		
	Kondisi Tekanan							01:39.99
1	0 bar	31,2					26,585	10.49.43
2	0.5 bar	119,4	108,8	78,7	188,1	248,2		12:31.57
3	1 bar	137,1	136,8	109	189,3	250,5		13:48.43
4	1.5 bar	149,6	131,3	132,8	198,6	265,5		14:50.69
5	2 bar	151,8	149,6	147,4	202,2	233,3		16:29.41
6	2.5 bar	163,5	163,1	164,3	215,7	297,3		17:59.10
7	2.6 bar	172,8	173,8	172,7	195,1	243	26,395	18:30.78
Massa air (kg/ batch)								1,19
Massa LPG (kg/ batch)								0.616

Pengambilan Data Pengujian Boiler Laundry								
NO	Percobaan 2	Temperatur					Berat Gas	Waktu
		T1 (SISI LUAR BAWAH)	T2 (SISI LUAR TENGAH)	T3 (SISI LUAR ATAS)	T4 (SISI DALAM ATAS)	T5 (SISI DALAM BAWAH)		
	Kondisi Tekanan							01:24.84
1	0 bar	30,7	33	34,8			26,89	09:32.63
2	0.5 bar	103	61,1	62,7	172,5	198,2		11:15.67
3	1 bar	137,4	103,5	105,9	184,3	257,2		12:35.20

4	1.5 bar	147,3	126,1	133,6	211,1	270,8		13:41.39
5	2 bar	154,8	146,5	146,6	218,7	306,2		15:37.06
6	2.5 bar	163,5	159,3	161,6	210,8	299,2		16:37.65
7	2.6 bar	173,8	174,2	175,5	201,1	202,5	26,75	17:15.22
Massa air (kg/ batch)								1,19
Massa LPG (kg/ batch)								0.454

Pengambilan Data Pengujian Boiler Laundry								
NO	Percobaan 3	Temperatur					Berat Gas (Kg)	Waktu
		T1 (SISI LUAR BAWAH)	T2 (SISI LUAR TENGAH)	T3 (SISI LUAR ATAS)	T4 (SISI DALAM ATAS)	T5 (SISI DALAM BAWAH)		
	Kondisi Tekanan							04:26.80
1	0 bar	34,5	34,2	34,5			26,63	11:58.30
2	0.5 bar	115,4	70,6	77,2	184,1	280		14:15.75
3	1 bar	138,5	104,1	107,4	195,7	275,1		15:34.82
4	1.5 bar	143	130,4	132,7	213,1	267,6		16:41.32
5	2 bar	151,9	149,3	148,8	220,6	274,7		17:51.52
6	2.5 bar	158,8	160,7	159,9	223,6	291,6		19:10.76
7	2.6 bar	175,8	172,7	170,5	208,2	212	26,47	19:12.14
Massa air (kg/batch)								1,19
Massa LPG (kg/batch)								0.518

Perhitungan Kapasitas Uap

$$\begin{aligned}
 m_{Uap} &= m_{Air} \\
 m_{Uap} &= 1,19 \text{ kg/jam} \\
 Q_{Uap} &= m_{Uap} \times (h_g - h_l) \\
 Q_{Uap} &= 1,19 \text{ kg} \times (2733,25 - 125,73) \text{ kJ/kg} \\
 Q_{Uap} &= 3100,57 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Kebutuhan Energi Boiler

$$\begin{aligned}
 Q_{Boiler} &= G_{LPG} \times NHV \\
 Q_{Boiler} &= G_{LPG (avg)} \times NHV \\
 Q_{Boiler} &= 0,53 \text{ kg} \times 46000 \text{ kJ/kg} \\
 Q_{Boiler} &= 23480 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Pengambilan Data Pengujian Boiler Laundry								
NO	Percobaan 2	Temperatur					Berat Gas	Waktu
		T1 (SISI LUAR BAWAH)	T2 (SISI LUAR TENGAH)	T3 (SISI LUAR ATAS)	T4 (SISI DALAM ATAS)	T5 (SISI DALAM BAWAH)		
	Kondisi Tekanan							
1	0 bar	34,9	36,8	37,5	38,4	35,5	22,075	0
2	0.5 bar	88,8	58,4	56,8	127,7	199		04:05,5
3	1 bar	116,6	81,8	73,2	128,1	210,7		05:52,5
4	1.5 bar	141,2	114,9	99,3	153,2	221,6		08:01,9
5	2 bar	148,6	120,6	120,7	168,3	228,5		09:03,9
6	2.5 bar	158,3	138,1	135,6	167,3	227,7		09:54,3
7	2.6 bar	167,5	150,2	148,2	173,4	228,8	21,985	10:09,7
Massa air (kg/ batch)								2,38
Massa LPG (kg/ batch)								0,54

Pengambilan Data Pengujian Boiler Laundry								
NO	Percobaan 3	Temperatur					Berat Gas (Kg)	Waktu
		T1 (SISI LUAR BAWAH)	T2 (SISI LUAR TENGAH)	T3 (SISI LUAR ATAS)	T4 (SISI DALAM ATAS)	T5 (SISI DALAM BAWAH)		
	Kondisi Tekanan							
1	0 bar	34,9	36,8	37,5	38,4	35,5	21,98	0
2	0.5 bar	77,3	58,1	51,5	120,5	161,1		04:05,5
3	1 bar	107	70,7	64,6	129,4	178,4		05:52,5
4	1.5 bar	138,4	97,8	95	163,6	225,8		08:01,9
5	2 bar	149,5	116,1	113,7	165,3	215,8		09:03,9
6	2.5 bar	158,1	131,1	127	158,2	210,9		09:54,3
7	2.6 bar	161	141,6	137,3	174,1	247	21,835	10:09,7
Massa air (kg/ batch)								4,13
Massa LPG (kg/ batch)								0,87

Perhitungan Kapasitas Uap

$$m_{Uap}(avg) = m_{Air}(Avg)$$

$$m_{Uap} = 2,12 \text{ kg}$$

$$Q_{Uap} = m_{Uap} \times (h_g - h_l)$$

$$Q_{Uap} = 2,12 \text{ kg} \times (2733,25 - 125,73) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{Uap} = 5527,94 \text{ kJ}$$

Perhitungan Kebutuhan Energi Boiler

$$Q_{Boiler} = G_{LPG} \times NHV$$

$$Q_{Boiler} = G_{LPG (avg)} \times NHV$$

$$Q_{Boiler} = 0,67 \text{ kg} \times 46000 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{Boiler} = 30820 \text{ kJ}$$

Perhitungan Kebutuhan Energi Boiler

$$\eta = \frac{Q_{uap}}{Q_{boiler}} \times 100$$

$$\eta = \frac{5527,94 \text{ kJ}}{30820 \text{ kJ}} \times 100$$

$$\eta = 18 \%$$

Diketahui efisiensi Boiler Modifikasi (kemiringan 5° dengan 11 Pipa Air) sebesar 18 %, Dan dengan waktu mencapai tekanan 3,6 Bar(abs) dengan waktu rata rata 10 menit, Demikian peningkatan efisiensi dari eksisting ke modifikasi adalah 5% dan waktu mencapai tekanan maks (3.6 Bar) 8 menit lebih cepat dengan kapasitas volume yang sama yaitu 0.13 m³.

4.5 Tekno Ekonomi pada boiler modifikasi

Dalam Pembuatan Boiler Menghabiskan dana sebesar

No	Jenis	Qty	Harga
1.	Plat ST 37	1.3 m ²	Rp. 520.000,00
2.	Pipa Astm A53	1.5 m (3/4 inch)	Rp. 350.000,00
3.	Utilitas (valve dll)		Rp. 900.000,00
4.	Jasa		Rp. 600.000,00
6.	PLC (dll.)		Rp. 653.000,00
Jumlah			Rp. 3.023.000,00

Dengan Harga Pasar kompetitor ukuran 15 liter sebesar Rp. 4.000.000,00 dengan mengunakan perbandingan lurus 13 liter didapat harga pasar Rp 3.500.000,00. Dan dari biaya pembuatan diambil margin keuntungan sebesar 10% di dapat hasil akhir pasar boiler team undip ini sebesar Rp. 3.300.000,00 dapat disimpulkan boiler kami memiliki harga yang lebih murah di banding boiler yang ada di pasaran. Sehingga dapat bersaing di pasar sekarang

Dari segi keunggulan ekonomis didapatkan keunggulan dalam penggunaan pemakaian sebagai berikut

$$\frac{efesiensi\ modifikasi - Efesiensi\ eks}{Efesiesnsi\ mosifikasi} \times Harga\ LPG\ 3\ kg$$

$$\frac{18 - 13,8}{18} \times Rp\ 22.000$$

$$Rp\ 5.200,00$$

Dengan menggunakan boiler modifikasi dapat menghemat Setiap biaya isi ulang Lpg 3 kg sebesar Rp. 5.200,00

4.6 Pengaruh Penambahan dan pemiringan pipa air pada pipa api

Penambahan dan pemiringan pipa air dalam sistem pipa api memiliki beberapa pengaruh signifikan terhadap performa perpindahan panas dan pembakaran. Berikut adalah penjelasan terkait dampak dari perubahan ini terhadap beberapa parameter utama:

1. **Penurunan Kecepatan Keluar di Outlet**

Penambahan dan pemiringan pipa air dapat mengubah pola aliran fluida di dalam ruang pembakaran dan *heat exchanger*. Dengan adanya lebih banyak hambatan akibat pipa air, aliran gas hasil pembakaran akan mengalami perlambatan. Penurunan kecepatan ini dapat mengurangi turbulensi di sekitar outlet dan memberikan lebih banyak waktu bagi gas panas untuk mentransfer kalor ke pipa air sebelum gas buang keluar dari sistem. Hal ini meningkatkan efisiensi perpindahan panas dan mengurangi kehilangan energi termal yang terbawa oleh gas buang.

2. **Penambahan Luas Pemanas**

Salah satu keuntungan utama dari penambahan dan pemiringan pipa air adalah peningkatan luas permukaan perpindahan panas. Dengan lebih banyak pipa air yang terpapar langsung oleh gas panas dari pembakaran, perpindahan kalor dari gas ke air menjadi lebih efisien. Hal ini akan meningkatkan laju pemanasan air, sehingga meningkatkan efisiensi termal sistem secara keseluruhan. Selain itu, distribusi panas yang lebih merata dapat mengurangi gradien temperatur yang ekstrem, yang dapat memperpanjang umur material komponen boiler.