



**STUDI EKPERIMENTAL PENGARUH BUKAAN KATUP BURNER
NON PREMIX DENGAN PENAMBAHAN SELUBUNG UDARA
TERHADAP DISTRIBUSI TEMPERATUR NON PREMIX
“TURBULEN FLAME”**

Fahmi Ibrahim

Andrianto Dwi H

Yanu Eko Budi Santoso

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia

email: andri@outlook.fr

ABSTRAK

Some theories suggest that a form a stream of flame greatly affects the grid isothermal. As for the difficulty of determining the pattern of line isothermal is the total number of distribution points on fire try measured and the stability of the flame. Experiments conducted in a non-standard type premix burner semawar 202 has a purpose to find out the temperature distribution of turbulent flame on burner. The experiment was done at half the flame with symmetrical shaped flame assume. Measurements using thermocouple and craft made 8 measurement-high flames have different heights in each variation (without sheath the sheath, the addition of 1 and the addition of sheath 2) as well as on the opening valve ($\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, and full)

The experiment results show that the high value of the ideal weights are at 7 cm from the burner valve openings on $\frac{3}{4}$ without the addition of the sheath and high value ideal load occurs at an altitude of 8 cm when the addition of the sheath valve openings 1 in $\frac{3}{4}$ and when the addition ideal load height 2 sheath is located at 8 cm full valve openings at the time. This data is obtained from the average temperature distribution with the condition of the tube is fully charged. constructs burner also has any real effect in the profile average temperature distribution of fire and the shape and the dimensions of the resulting construction and burner also has influence on laying high ideal so that the load is able to receive heat optimal.

PENDAHULUAN

Dalam sektor industri makanan di indonesia penggunaan energi (pembakaran) sangatlah penting mengingat jumlah penduduk indonesia yang mencapai 254,9 juta jiwa pada tahun 2015. Sumber energi yang utama bagi sektor ini masih banyak menggunakan bahan bakar minyak, LPG, kayu dan bio arang di sebagian urban atau semi urban. Namun subsidi minyak tanah dalam beberapa tahun terakhir dirasa masih

sangat memberatkan karena banyaknya yang harus di subsidi, seiring dengan berbagai krisis dan transisi yang terjadi pada management energi nasional. Kondisi ini juga diperburuk dengan harga minyak dunia yang bertahan pada kisaran rata-rata USD 89,08 per barel. Karena itu pemerintah mengambil sebuah terobosan untuk melakukan konversi bahan bakar minyak tanah menuju ke *Liquid Petroleum Gas* (LPG) dengan adanya terobosan dianggap

dapat menanggulangi permasalahan yang terjadi dengan adanya pengembangan dan pemanfaatan energi sekaligus mengurangi tekanan pada RAPBN. Terobosan ini juga mudah dipahami masyarakat dan sangat strategis mengingat setelah terjadi penghapusan subsidi bensin dan solar dan permintaan terhadap minyak tanah pun mengalami lonjakan harga hingga tahun 2008 mencapai level rata-rata 101,01 per barel meski harga minyak dunia mengalami krisis pada tahun berikutnya yang menyebabkan harga minyak dunia terus naik turun hingga mencapai level rata-rata USD 89,09 per barel pada tahun 2004 (okezone.com jum'at januari 2015). Karena itu salah satu jalan yang dapat ditempuh adalah mengurangi pemakaian minyak tanah dan mengalihkannya ke *Liquid Petroleum Gas* (LPG) yang dirasa lebih murah dan mampu mengatasi permasalahan bahan bakar yang terjadi.

Proses pembakaran

Proses pembakaran dapat didefinisikan sebagai kombinasi secara kimiawi dari unsur oksigen dengan unsur yang mudah terbakar dari bahan bakar (reaksi oksidasi) yang berlangsung secara cepat maupun lambat pada suhu dan tekanan tertentu.

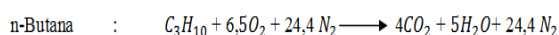
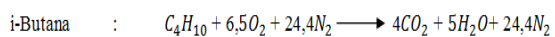
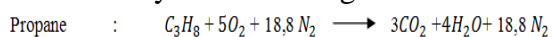
- **Pembakaran stoikiometris**

Kondisi pembakaran stoikiometrik adalah dimana relatif jumlah bahan bakar dan udara secara teoritis dibutuhkan minimal untuk memberikan pembakaran yang sempurna, dan dapat dihitung melalui analisa pada bahan bakar gas yang bereaksi dengan oksigen.

Pada penelitian ini menggunakan LPG sesuai dengan spesifikasi yang dikeluarkan oleh Pertamina yang meliputi ethana (C_2H_6), propane (C_3H_8), iso-butana (C_4H_{10}), normal-butana (C_4H_{10}), iso-pentana (C_5H_{12}) seperti yang ditunjukkan pada lempira C, sedangkan untuk perhitungan stoikiometrik hanya unsur yang dominan : propane (C_3H_8), i-butana (C_4H_{10}), n-butana (C_4H_{10}).

Jenis BB	Rumus Kimia	Berat Mol (gr/mol)	% berat	Jumlah Mol (mol/gram)	Fraksi Mol
Propane	C_3H_8	44	11	0,25	0,14
i-butana	C_4H_{10}	58	31	0,53	0,30
n-butana	C_4H_{10}	58	58	1,00	0,56
Jumlah			100	1,78	1,00

Tabel 1 spesifikasi bahan bakul LPG Sehingga persamaan reaksi pembakaran stoikiometrinya adalah sebagai berikut :



dari beberapa persamaan diatas, sebagai contoh untuk persamaan reaksi pembakaran teoritis gas propane :



1 mole 5 mole 18,8 mole 3 mole 4 mole 18,8 mole.

Jadi secara teoritis dapat dilihat bahwa kebutuhan bahan bakar dan udara sebanding dengan jumlah koefisien masing-masing reaktan dan produk.

Sehingga konsentrasi CO₂ pada produk pembakaran stoikiometrik :

$$\%CO_2(\text{wet}) = \frac{3}{3+4+18,8} \times 100\% = 11,63\%$$

$$\%CO_2(\text{dry}) = \frac{3}{3+18,8} \times 100\% = 13,76\%$$

Kondisi pembakaran secara stoikiometri pada umumnya sulit untuk dicapai, hal ini dikarenakan laju reaksi yang terbatas dan adanya proses pencampuran bahan bakar yang tidak sempurna, sehingga pembakaran biasanya diekspresikan dengan *excess air*. Hal ini akan menjamin tidak adanya bahan bakar yang terbuang dan sempurnanya proses pembakaran.

- **Pembakaran Dengan Udara Lebih (Aktual)**

Sebuah pembakaran dalam prakteknya adalah sukar untuk daerah kondisi *stoikiometrik*. Beberapa *burner* untuk industri beroperasi pada rasio udara/gas yang mendekati nilai teoritisnya tetapi sebagian besar *burner* penentuan udaranya melebihi kondisi *stoikiometrinya*, hal ini untuk meyakinkan bahwa pembakaran terjadi dengan sempurna.

Alasan utama untuk menentukan jumlah udara lebih (*excess air*) adalah

kegagalan aliran gas dan udara untuk bercampur secara sempurna sebelum terjadinya sebuah proses pembakaran. proses pembakaran tergantung pada tumbukan molekul bahan bakar dengan molekul oksigen. Jika adanya kekurangan dalam campuran pada kedua fluida tersebut, maka oksigen harus diberikan untuk menambah terjadi tumbukan molekul.

Api (Flame)

Definisi api adalah sebuah oksidasi cepat terhadap suatu material dalam proses pembakaran kimiawi yang menghasilkan panas, cahaya, dan berbagai hasil reaksi kimia lainnya. Dasar mekanisme pengembangan berbeda pada *deflagrasi* dan *detonasi*, ini disebabkan karena adanya fenomenanya jarak.

Klasifikasi Api

menurut cara pencampuran dan reaksi (penyalan) bahan bakar dan *oxidizer*, api dikategorikan menjadi :

1. *Premixed flame*

Bila reaktan tercampur sempurna pada tingkat molekul sebelum terjadinya reaksi kimia yang signifikan. Laju pengembangan api (kecepatan pembakaran) tergantung pada komposisi dan laju reaksi kimia.

2. *Diffusion flame (non-premixed)*

Bila awalnya bahan bakar dengan *oxidized* terpisah dan reaksi terjadi hanya hubungan antara bahan bakar dan *oxidizer*, dimana pencampuran dan reaksi terjadi secara bersamaan. Pengembangan *diffusion flame* diatas oleh kecepatan berdiffusi reaktan terhadap lainnya. Api juga dikategorikan

menurut sifat-sifat mekanika fluidanya, yaitu :

- **Api laminar**, api yang aliran fluidanya bergerak dengan kondisi lapisan – lapisan yang membentuk garis-garis alir dan tidak berpotongan satu sama lain. Alirannya relatif mempunyai kecepatan rendah dan fluidanya bergerak sejajar (*laminae*) dan memiliki batasan-batasan yang berisi aliran fluida. laminar ciri arus yang berkecepatan rendah, dan aliran partikel sedimen dalam zona aliran yang berpindah. Aliran laminar tergambar sebagai filamen panjang yang mengalir sepanjang aliran. Aliran laminar mempunyai bilangan reynold lebih rendah dari 2300. Pada kondisi aliran laminar, aliran dari gas terbakar mengikuti streamline aliran tanpa adanya diffusi turbulen dimana diffusi panas dan massa tergantung pada sifat molekul dari komponen gas.
- **Api turbulen**, aliran turbulen adalah aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan yang berfluktuasi dan saling berinteraksi. akibat dari hal tersebut garis alir antar partikel saling berpotongan. Turbulen ditransfer dengan dua cara yaitu dengan penambahan fluida dan penurunan tekanan lokal ketika pusaran turbulen bekerja pada aliran turbulen memiliki bilangan reynold yang lebih besar dari 4000. Untuk kondisi aliran turbulen tergantung pada skala dan intensitas turbulensinya.

Proses perpindahan panas

Perpindahan panas merupakan perpindahan energi yang terjadi akibat adanya perbedaan temperatur. Selama

terdapat perbedaan temperatur maka perpindahan panas masih akan terjadi. Perpindahan panas dapat dibedakan menjadi 3 hal yaitu :

Konduksi

Perpindahan panas yang terjadi pada gradien temperatur yang terdapat dalam medium yang diam, baik itu benda padat maupun benda cair (fluida).

$$q_x = -kA \frac{dt}{dx} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

q_x = laju perpindahan panas konduksi
(Watt)

K = konduktivitas thermal (W/m. °C)

A = luas penampang yang tegak lurus dengan arah laju perpindahan panas
(m^2)

dt = perubahan suhu

dx = ketebalan bahan

Konveksi

Perpindahan panas yang terjadi karena perbedaan temperatur antara medium yang bergerak dengan suatu permukaan yang dilewatinya. Tanpa memperhatikan mekanismenya, persamaan laju perpindahan panas konveksi dinyatakan dalam bentuk :

$$q = \bar{h} \times A_s \times (T_s - T_{\infty}) \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

q = laju perpindahan panas (W)

\bar{h} = koefisien perpindahan panas
(W/ m^2 °C)

A_s = luas perpindahan panas (m^2)

T_s = temperatur dinding (°C)

T_{∞} = temperatur sekeliling (°C)

Radiasi

Radiasi termal adalah energi yang diemisikan oleh suatu benda yang berada pada temperatur hingga energi radiasi dapat

diemisikan dari permukaan benda padat, cair, maupun gas. emisi radiasi dapat diketahui dengan adanya perubahan dalam konfigurasi elektron dan atom atau molekul. Lebih lanjut energi dan medan radiasi ditransfer oleh gelombang elektromagnetik yang berasal dari energi dalam material yang memancar, perbedaan utama antara perpindahan panas radiasi dengan perpindahan panas konduksi dan perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas radiasi tidak memerlukan media material. Adapun radiasi thermal dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$q = \sigma \cdot A (T_1^4 - T_2^4) (W) \dots\dots\dots (2.3)$$

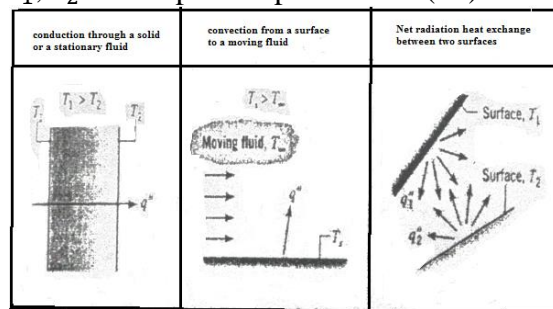
Keterangan:

q = laju perpindahan panas (w)

σ = konstanta bolztman
($5,669 \times 10^{-8} W/m^2 \text{ } ^\circ K$)

A = luas penampang (m^2)

T_1, T_2 = temperatur permukaan (°K)



Gambar 1. Proses perpindahan panas

Penjelasan lebih lanjut tentang perpindahan panas radiasi dapat digambarkan dengan dua bodi yang mempunyai temperatur (T_1) dan (T_2) berbentuk sembarang. Dua bodi tersebut mengemisikan aliran-aliran dari *radial thermal* pada seluruh arah.

Intensitas radiasi

Radiasi di emisikan oleh sebuah permukaan ke segala arah, distribusi arah ini menjadi hal yang sangat menarik untuk diketahui. Demikian juga radiasi yang menimpa suatu permukaan mungkin datang dari arah yang berlawanan dan cara permukaan merespon radiasi ini tergantung

pada arahnya. Efek dari arah inilah yang mendasari konsep intensitas radiasi.

• **Emissive power**

Dalam analisa termodinamika, densitas energi dihubungkan dengan radiasi energi radiasi dari permukaan per satuan waktu per satauan luas. Jadi permukaan bagian dalam yang dipanaskan dari suatu ruang tertutup menghasilkan densitas-energi radiasi-termal tertentu dalam ruang itu. Subskrip *b* dalam persamaan 2.4 menandakan disini radiasi dari benda hitam (blackbody). E_b disebut daya emisi benda hitam.

$$E_b = \sigma T^4 \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

$$E_b = \text{daya emisi } W/m^2$$

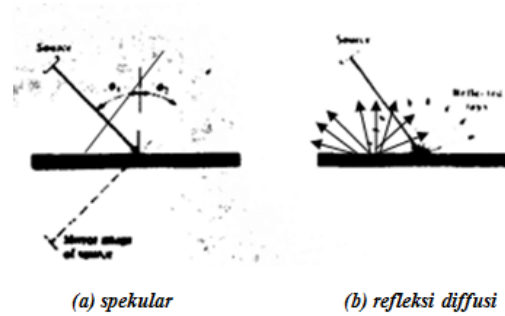
σ = konstanta stefan-boltz-mann

$$\sigma = 5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 [0,1714 \times 10^{-8} \text{ Btu/h.ft}^2 \cdot \text{R}^4]$$

$$T = \text{ }^{\circ}\text{K}$$

Sifat – Sifat Radiasi

Bila energi radiasi menimpa permukaan suatu bahan, maka sebagian dari radiasi itu dipantulkan (*refleksi*), sebagian diserap (*absorpsi*), dan sebagian lagi diteruskan (*transmisi*). Fraksi yang dipantulkan adalah *reflektivitas* ρ , fraksi yang diserap *absorptivitas* α , fraksi yang diteruskan *transmisivitas* τ . Ada dua fenomena refleksi yang dapat diamati bila radiasi menimpa suatu permukaan. Jika sudut jatuhnya sama dengan sudut refleksi, maka dikatakan refleksi itu spekular (*specular*). Dilain pihak apabila berkas yang jatuh itu tersebar secara merata ke segala arah sesudah refleksi, maka refleksi itu disebut difusi atau baur (*diffuse*), kedua jenis refleksi ini digambarkan dalam gambar berikut :



Gambar 2. Spekular & refleksi difusi

Andaikan bahwa semua permukaan yang kita persoalkan dalam analisa bersifat difusi dan mempunyai suhu merata (*uniform*), dan bahwa sifat-sifat refleksi dan emisinya konstan diseluruh permukaan, maka terdapat istilah baru dalam menghitung perpindahan panas radiasi benda-tak-hitam yaitu :

G = irradiansi (*irradiation*)

= total radiasi yang menimpa suatu permukaan per satuan waktu per satuan luas

J = radiositas (*radiosity*)

= total radiasi yang meninggalkan suatu permukaan per satuan waktu per satuan luas

Radiositas didefinisikan pula sebagai energi yang dipancarkan (emisi) dan energi yang dipantulkan (refleksi) apabila tidak ada energi yang diteruskan (transmisi).

$$J = \epsilon E_b + (\rho G) \dots\dots\dots(2.5)$$

$$J = \epsilon E_b + (1 - \epsilon) G \dots\dots\dots(2.6)$$

Energi netto yang meninggalkan permukaan itu ialah selisih antara radiositas dan irradiansi

$$\frac{q}{A} = J - G = \epsilon E_b + \{(1 - \epsilon) \cdot G\} - G \dots\dots(2.7)$$

$$q = \frac{E_b - J}{(1 - \epsilon) / \epsilon A} \dots\dots\dots(2.8)$$

Temperatur rata-rata

Sebuah distribusi temperature api tanpa beban digunakn untuk menentukan kedudukan beban optimal, artinya pada kedudukan optimal tersebut beban menerima

temperature rata – rata paling tinggi kedudukan ini sangat penting untuk ditentukan supaya dalam penelitian ini mendapat hasil yang optimal.

Pendekatan analisa dengan asumsi penampang temperature api jika dipotong pada ketinggian h tertentu adalah berbentuk dinding dinding lingkaran, dimana garis garis melingkar menunjukkan garis – garis isothermal dari api, dengan daerah tempaeratur rata – rata diatara dua garis isothermal. Sehingga luasan temperature api pada masing - masing ketinggian dapat diketahui.

Tempertur rata – rata (T rata – rata) setiap ketinggian dihitung dari jumlah luasan temperature ($A \times T$) total dibagi dengan luasan total (A total yang merupakan penjumlahan n daerah temperature dalam ketinggian tertentu).

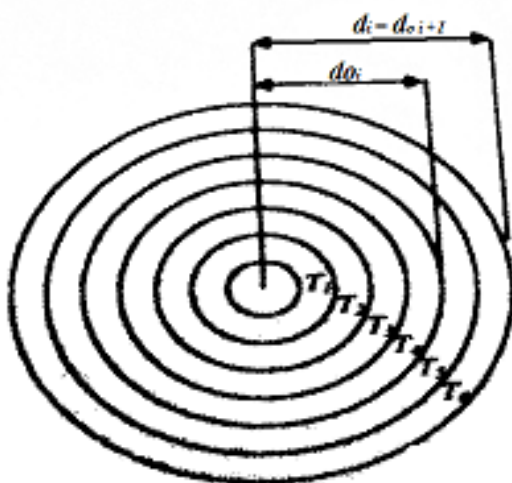
$$T_{rata-rata} = \frac{(AxT)_{total}}{A_{total}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

$$A_{total} = \sum_{i=1}^n [\pi. (ro_i^2 - ri_i^2)] \dots\dots\dots(2.10)$$

$$(AxT)_{total} = \sum_{i=1}^n [\pi. (ro_i^2 - ri_i^2) \times T_i] \quad (2.11)$$

T_i = Temperatur rata-rata diantara garis isothermal



Gambar 3. Skema penampang api

METODE ANALISIS

Untuk mempermudah penelitian dan mencapai tujuan yang diharapkan maka dalam penelitian ini digunakan metode kuantitatif yang menitik beratkan pada pengujian hipotesis dan data yang digunakan harus terukur (percobaan menggunakan alat ukur).

Langkah –langkah metode analisis supaya tujuan penelitian dapat tercapai sebagai berikut :

1. Tahap persiapan
 - Pemilihan topik dan studi literatur
 - Penentuan judul dan desain alat
 - Penyusunan proposal dan seminar proposal
2. Tahap pelaksanaan
 - Pembuatan alat uji dan sistem akusisi data
 - Uji coba alat
 - Pengambilan data
 - Pengolahan dan analisa data
 - Analisa data
3. Tahap penyusunan laporan
 - Kesimpulan hasil penelitian
 - Penyusunan laporan penelitian

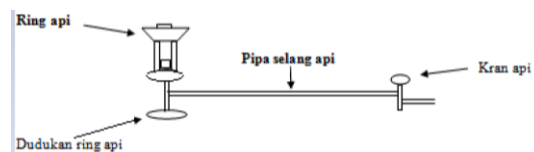
Persiapan Peralatan

Sebelum melakukan penelitian dan pengujian terlebih dahulu menyiapkan peralatan yang akan digunakan, antara lain :

1. Burner non premix
2. Stand alat ukur
3. Thermocouple type k
4. Selubung udara 1 dan 2
5. Sistem akusisi data

Untuk penjelasan lebih jelasnya peralatan yang akan kami gunakan sebagai berikut :

1. Burner non premix

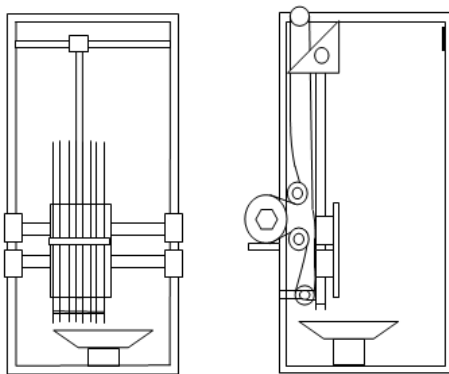


Gambar 4. Burner non premix

Pada burner non premix ini terdapat beberapa bagian yang penting antara lain :

- **Kran api**, komponen ini biasa terbuat dari besi cor
- **Ring api**, komponen ini biasa terbuat dari besi cor
- **Dudukan ring api**, komponen ini terbuat dari besi plat dan as besi
- **Stick pipa selang api**, komponen ini terbuat dari pipa besi

2. Stand alat ukur



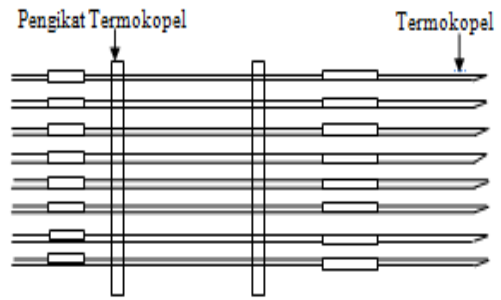
Gambar 5. Stand alat ukur

Stand alat ukur ini terdapat beberapa bagian antara lain :

1. Dudukan termokopel
2. Rel alat ukur
3. Gear penggerak
4. Rantai penggerak
5. Dinamo
6. Potensio meter

3. Termokopel

Thermocouple yang digunakan dalam pengujian adalah thermocouple type K yang mempunyai range spesifikasi antara $0 - 1250^{\circ}$ dalam melakukan pengujian ini kami menggunakan thermocouple sebanyak 8 buah /chanel, ada pun penyusunannya seperti gambar dibawah ini :



Gambar 6. Termokopel type K

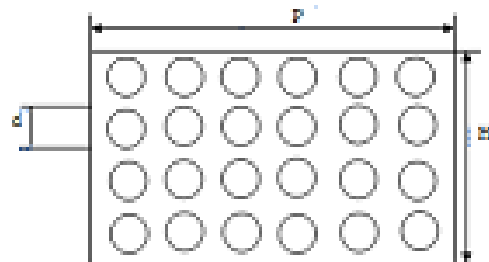
4. Selubung udara

Seperti yang kita ketahui bahwa nyala api turbulen merupakan nyala pola api yang tidak beraturan atau acak. Maka dengan penambahan selubung udara diharapkan dapat mengubah temperatur nyala api.

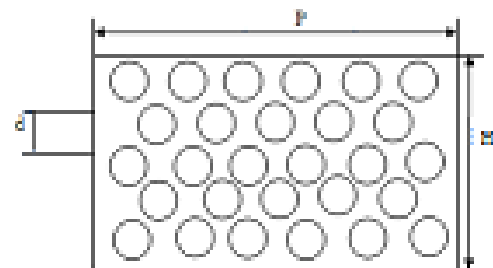
Dimensi selubung yang akan digunakan adalah sebagai berikut :



Gambar 7. Selubung 1 dan 2



Gambar 8. Selubung udara 1



Gambar 9. Selubung udara 2

Dimensi	Selubung 1	Selubung 2
Tinggi	10 cm	10 cm
Diameter Lualan Udara	1 mm	1 mm
Banyak lubang	440	827

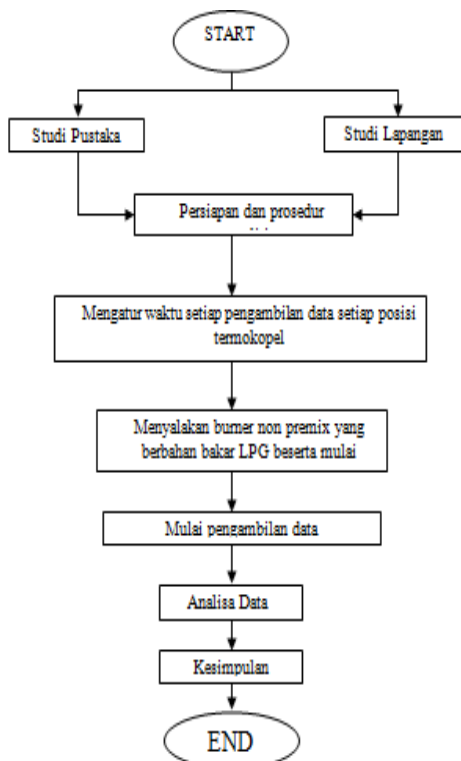
Tabel 2. Dimensi selubung udara

5. Peralatan sistem akusisi data

Sistem akusisi data temperatur, digunakan untuk mengatur distribusi api secara bersamaan pada 8 titik dalam sekali proses pengambilan data. Peralatan itu adalah :

1. Perangkat Keras
 - 2 modul PCB (thermokopel amplifier dan ADC 10bit)
 - Komputer (processor P4 1.8, GHZ 512,HD 80GB).
2. Peralatan Lunak
 - PLX-DAQ.
 - Windows XP Profesional SP 2.
3. Stopwatch, Untuk waktu pengambilan data
4. Termometer untuk pengukur suhu ruangan

PROSEDUR PERCOBAAN



HASIL DAN PEMBAHASAN

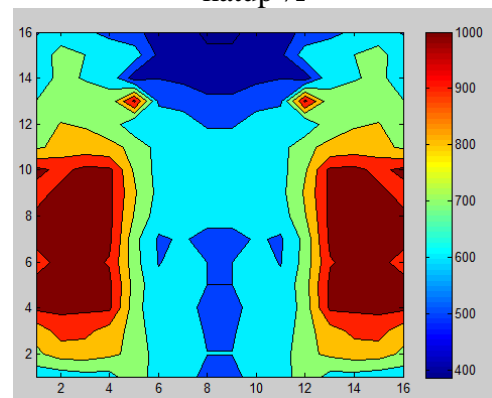
Pengukuran Distribusi Temperatur Tanpa Selubung Udara

h (cm)	T.Couple 1	T.Couple 2	T.couple 3	T.couple 4	T.couple 5	T.couple 6	T.couple 7	T.couple 8
15	496	463	516	518	626	650	666	591
14	568	586	589	590	709	701	721	762
13	699	668	700	697	744	766	777	716
12	689	645	715	722	801	818	753	821
11	774	725	791	794	846	874	891	821
10	812	726	818	831	709	701	721	762
9	809	804	808	897	1023	1023	1023	1023
8	825	718	789	800	1023	1023	1023	1023
7	844	800	858	865	1023	1023	1023	1023
6	840	782	814	811	1023	1023	1023	1023
5	927	905	923	912	1023	1023	1023	1023
4	984	981	964	955	1023	1023	1023	1023
3	936	982	925	915	1023	1023	1023	1023
2	959	973	930	922	1023	1023	1023	1023
1	954	970	939	939	972	980	970	936
0	122	175	135	116	419	833	412	365

Tabel 3. Distribusi temperatur saat bukan katup ½



Gambar 10. Api saat tanpa selubung bukaan katup ½



Gambar 11. Distribusi temperatur tanpa selubung bukaan katup ½

Tabel 4. Distribusi temperatur saat bukan katup $\frac{3}{4}$

h	T. Couple 1	T. Couple 2	T. couple 3	T. couple 4	T. couple 5	T. couple 6	T. couple 7	T. couple 8
15	387	426	456	527	563	625	659	589
14	412	452	484	648	687	700	727	653
13	431	473	498	451	675	693	719	658
12	532	575	590	1023	728	742	759	702
11	592	630	635	601	778	790	804	743
10	639	676	655	791	811	843	838	779
9	654	684	663	789	1023	1023	977	1023
8	661	692	673	814	1023	1023	1023	971
7	633	674	647	792	1023	1023	1023	1014
6	573	609	589	731	1023	1023	1023	1023
5	599	629	595	741	993	1023	1023	971
4	600	637	621	759	1023	1023	1023	1023
3	585	619	612	744	1023	1023	1023	1023
2	592	639	628	764	859	924	945	834
1	601	648	649	770	823	856	843	782
0	577	629	641	776	661	663	642	630

Tabel 5. Distribusi temperatur saat bukan katup penuh

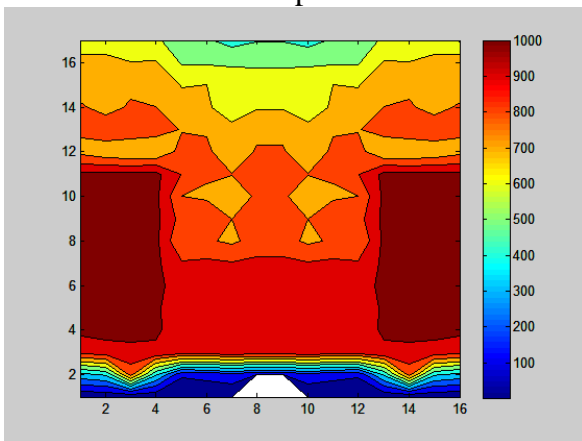
h (cm)	T. Couple 1	T. Couple 2	T. couple 3	T. couple 4	T. couple 5	T. couple 6	T. couple 7	T. couple 8
15	412	452	484	648	769	781	791	740
14	415	443	488	567	789	802	808	763
13	431	471	493	451	783	798	812	753
12	532	575	590	894	834	851	826	802
11	592	630	635	601	836	852	847	797
10	639	676	655	791	969	995	994	939
9	654	684	663	789	957	1004	982	928
8	661	692	673	814	957	1003	982	928
7	633	674	647	792	997	961	907	905
6	573	609	589	731	931	955	954	897
5	600	637	621	759	993	1023	1023	971
4	585	619	612	744	1023	1023	1023	1023
3	592	639	628	764	1023	1023	1023	1023
2	601	648	649	777	1023	1023	1023	1023
1	577	629	641	776	1023	1023	1023	1023
0	803	846	809	771	542	584	404	507



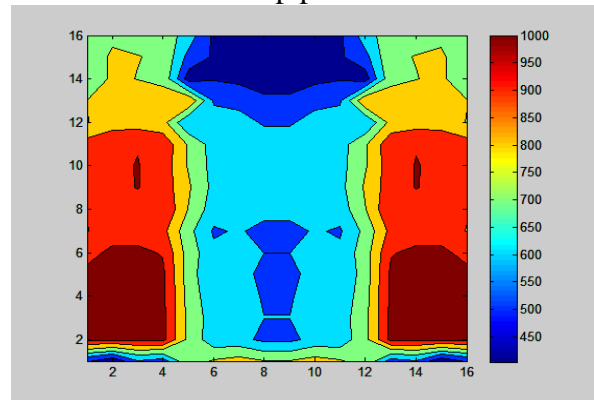
Gambar 12. Api saat tanpa selubung bukaan katup $\frac{3}{4}$



Gambar 14. Api saat tanpa selubung bukaan katup penuh



Gambar 13. Distribusi temperatur tanpa selubung bukaan katup $\frac{3}{4}$



Gambar 15. Distribusi temperatur tanpa selubung bukaan katup penuh

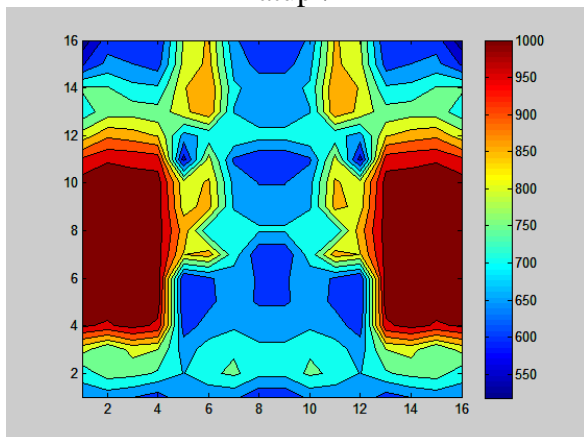
Percobaan Pada Burner dengan Penambahan selubung udara 1
 hasil pengukuran distribusi temperature dengan penambahan selubung udara 1 beserta bukaan katupnya.

Tabel 6. Distribusi temperatur saat bukaan katup $\frac{1}{2}$

h (cm)	T.Couple 1	T.Couple 2	T.couple 3	T.couple 4	T.couple 5	T.couple 6	T.couple 7	T.couple 8
15	625	657	860	803	602	598	626	518
14	632	681	864	809	626	650	666	591
13	677	709	899	845	709	713	753	759
12	664	698	888	837	766	776	777	720
11	720	747	718	679	846	874	891	821
10	607	642	818	579	977	986	996	960
9	648	682	857	820	1023	1023	1023	1023
8	681	694	867	832	1023	1023	1023	1023
7	705	746	706	878	1023	1023	1023	1023
6	611	720	874	848	1023	1023	1023	1023
5	644	680	642	604	1023	1023	1023	1023
4	643	676	640	600	1023	1023	1023	1023
3	685	692	670	625	989	1021	993	1006
2	707	743	722	677	801	818	753	821
1	716	761	739	698	744	766	777	716
0	609	661	659	689	626	650	666	676



Gambar 16. Api saat selubung 1 bukaan katup $\frac{1}{2}$



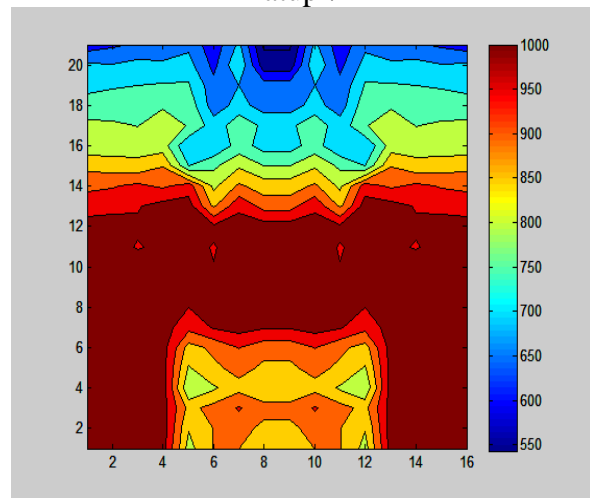
Gambar 17. Distribusi temperatur selubung 1 bukaan katup $\frac{1}{2}$

Tabel 7. Distribusi temperatur saat bukaan katup $\frac{3}{4}$

h (cm)	T.Couple 1	T.Couple 2	T.couple 3	T.couple 4	T.couple 5	T.couple 6	T.couple 7	T.couple 8
20	545	711	621	687	673	685	640	620
19	568	743	635	721	706	712	703	708
18	676	700	685	756	754	750	744	730
17	677	718	675	781	796	786	777	780
16	738	782	720	798	816	799	808	809
15	731	771	704	704	821	821	820	816
14	800	841	789	751	899	871	876	836
13	876	908	839	974	940	939	947	939
12	930	987	892	1023	1021	996	986	979
11	1023	1023	1002	1023	1009	1011	1020	1019
10	1023	1023	1021	1023	1008	1008	1014	1018
9	1023	1023	1011	1023	1011	1008	1021	1020
8	1010	1023	997	1017	1012	996	1020	1018
7	1008	1023	1001	1023	1023	1023	1023	1023
6	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023
5	1023	1023	1023	1000	1023	1023	1023	1023
4	1008	1023	1004	985	1023	1023	1023	1023
3	920	951	812	879	1023	1023	1023	1023
2	889	920	888	845	1023	1023	1023	1023
1	837	883	844	807	1023	1023	1023	1023
0	922	954	917	886	1023	1023	1023	1023
0	884	927	902	854	1023	1023	1023	1023
0	831	900	904	829	1023	1023	1023	1023



Gambar 18. Api saat selubung 1 bukaan katup $\frac{3}{4}$



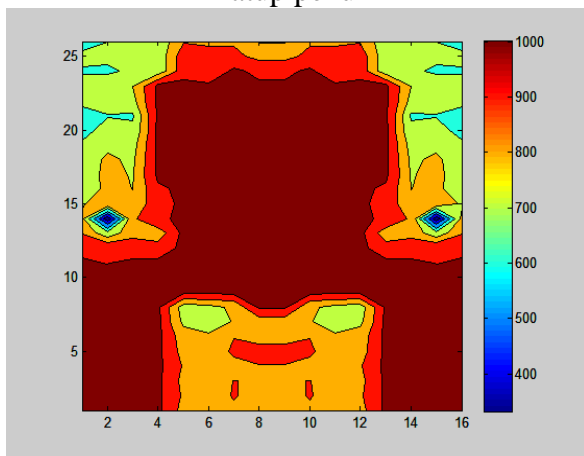
Gambar 19. Distribusi temperatur selubung 1 bukaan katup $\frac{3}{4}$

Tabel 8. Distribusi temperatur saat bukan katup penuh

h (cm)	T.Couple 1	T.Couple 2	T.Couple 3	T.Couple 4	T.Couple 5	T.Couple 6	T.Couple 7	T.Couple 8
20	897	700	643	898	818	718	721	741
19	893	713	692	755	825	750	714	723
18	732	748	748	749	808	817	742	729
17	827	813	801	818	876	841	868	884
16	839	893	828	832	844	833	877	874
15	878	927	865	888	981	888	828	817
14	877	924	877	821	988	980	890	889
13	883	923	885	901	924	999	878	910
12	912	964	904	938	937	948	974	923
11	942	970	911	937	933	937	963	917
10	937	938	928	948	1002	988	998	998
9	971	959	940	944	1008	1018	911	997
8	922	912	899	909	929	1020	899	1008
7	923	948	889	920	933	1008	927	983
6	942	974	927	922	944	927	997	1001
5	982	938	839	903	930	1020	1020	1018
4	913	947	881	911	988	989	1008	1007
3	917	948	858	947	932	978	977	1020
2	931	943	913	913	934	1008	944	1008
1	923	943	974	943	933	988	1008	982
0	837	894	878	934	988	1008	989	1000



Gambar 21. Api saat selubung 1 bukaan katup penuh



Gambar 22. Distribusi temperatur selubung 1 bukaan katup penuh

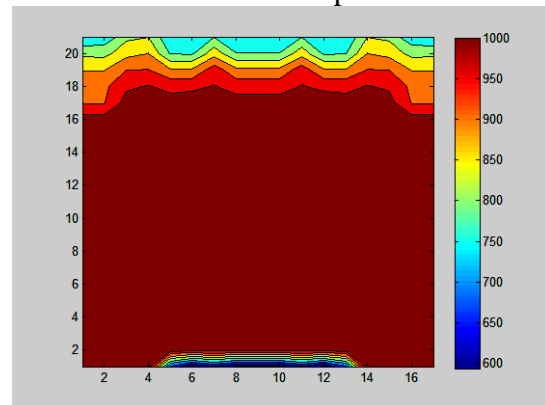
Percobaan Pada Burner dengan Penambahan selubung udara 2
 hasil pengukuran distribusi temperature dengan penambahan selubung udara 1 beserta bukaan katupnya.

Tabel 9. Distribusi temperatur saat bukan katup 1/2

h (cm)	T.Couple 1	T.Couple 2	T.Couple 3	T.Couple 4	T.Couple 5	T.Couple 6	T.Couple 7	T.Couple 8
20	338	436	378	343	349	378	499	339
19	334	333	443	323	344	394	388	833
18	334	824	379	343	843	833	844	834
17	855	711	608	824	854	823	833	892
16	843	833	878	833	887	774	743	898
15	833	879	830	842	798	773	723	723
14	832	887	858	863	980	1013	938	933
13	828	870	841	839	1023	1023	1023	1023
12	843	897	843	839	1023	1023	1023	1023
11	703	780	713	708	1023	1023	1023	1023
10	873	933	880	871	1023	1023	1023	1023
9	894	938	993	892	1023	1023	1023	1023
8	904	939	909	903	1023	1023	1023	1023
7	830	927	980	837	1023	1023	1023	1023
6	838	927	981	881	1023	1023	1023	1023
5	813	887	830	829	1023	1023	1023	1023
4	833	893	839	819	1023	1023	1023	1023
3	834	909	849	839	1023	1023	1023	1023
2	930	1010	989	980	1023	1023	1023	1023
1	878	943	901	881	1023	1023	1023	1023
0	478	330	433	489	399	982	920	904



Gambar 23. Distribusi temperatur selubung 2 bukaan katup 1/2



Gambar 24. Distribusi temperatur selubung 2 bukaan katup 1/2

Tabel 10. Distribusi temperatur saat bukan katup $\frac{3}{4}$

h (cm)	T.Couple 1	T.Couple 2	T.couple 3	T.couple 4	T.couple 5	T.couple 6	T.couple 7	T.couple 8
20	750	796	798	757	830	837	765	755
19	801	881	793	797	901	882	835	837
18	914	977	907	906	952	948	898	898
17	977	1003	989	983	1003	993	939	923
16	1023	1023	1023	1023	1023	1018	947	947
15	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023
14	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023
13	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023
12	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023
11	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023
10	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023
9	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023
8	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023
7	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023
6	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023
5	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023
4	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023
3	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023
2	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023
1	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023
0	599	644	594	686	1023	1023	1023	1023

Tabel 11. Distribusi temperatur saat bukan katup penuh

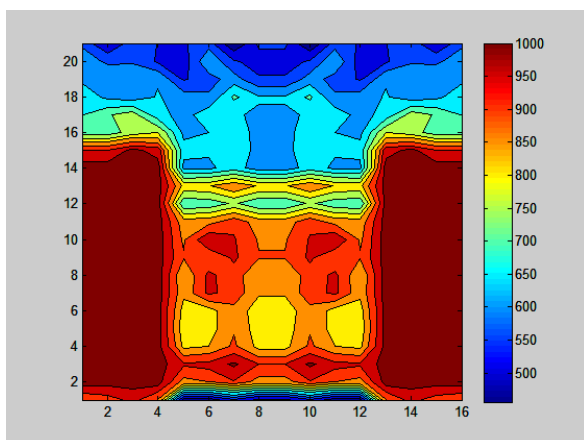
h (cm)	T.Couple 1	T.Couple 2	T.couple 3	T.couple 4	T.couple 5	T.couple 6	T.couple 7	T.couple 8
20	789	839	870	890	734	775	692	654
19	870	925	960	962	720	745	727	728
18	970	1023	911	968	728	723	677	690
17	1023	1023	1023	1023	1023	798	780	760
16	1023	1023	1023	1023	1023	771	769	760
15	1023	1023	1023	1023	1023	890	892	860
14	1023	1023	1023	1023	1023	718	723	678
13	1023	1023	1023	1023	1023	751	772	709
12	1023	1023	1023	1023	1023	780	819	764
11	1023	1023	1023	1023	1023	791	821	756
10	1023	1023	1023	1023	983	799	816	760
9	1023	1023	1023	1023	845	826	843	788
8	1023	1023	1023	1023	919	846	822	828
7	1023	1023	1023	1023	846	874	728	894
6	1023	1023	1023	1023	947	945	990	982
5	1023	1023	1023	1023	1023	1023	998	1008
4	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023
3	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023
2	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023
1	876	904	873	884	1023	1023	1023	1023
0	847	891	861	864	1023	1023	1023	1023



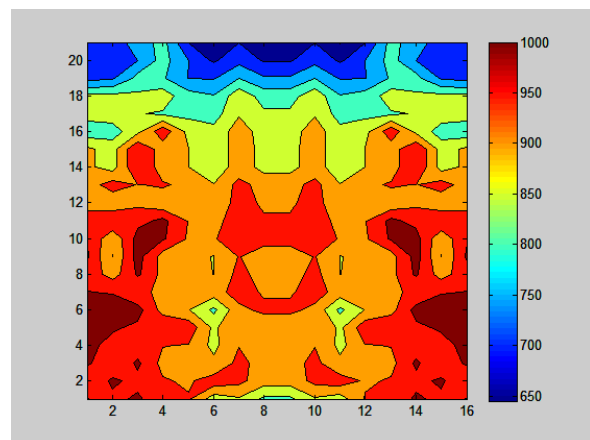
Gambar 24. Distribusi temperatur selubung 2 bukaan katup $\frac{3}{4}$



Gambar 26. Distribusi temperatur selubung 2 bukaan katup penuh



Gambar 25. Distribusi temperatur selubung 2 bukaan katup $\frac{3}{4}$



Gambar 27. Distribusi temperatur selubung 2 bukaan katup penuh

Perhitungan Temperatur Rata-Rata Api

Distribusi temperatur api rata – rata api digunakan untuk menentukan kedudukan beban optimum, artinya pada kedudukan tertentu beban menerima temperatur rata-rata yang paling tinggi serta berguna untuk perhitungan perpindahan panas yang terjadi

Sebagai contoh perhitungan diambil dari distribusi temperature api untuk burner non premix tanpa selubung udara pada bukaan katup 1/2 sebagai berikut :

$$A_{total} : 3.14 (1^2) + 3.14 (2^2-1^2) + 3.14 (3^2-2^2) + 3.14 (4^2- 3^2) + 3.14 (5^2- 4^2) + 3.14 (6^2-5^2) + 3.14 (7^2-6^2) + 3.14 (8^2-7^2) = 200,96 \text{ cm}^2$$

$$(AxT)_{total} : 3.14 (1^2) \times 122 + 3.14 (2^2-1^2) \times 175 + 3.14 (3^2-2^2) \times 135 + 3.14 (4^2-3^2) \times 116 + 3.14 (5^2-4^2) \times 419 + 3.14 (6^2-5^2) \times 833 + 3.14 (7^2-6^2) \times 412 + 3.14 (8^2-7^2) \times 365 = 78135,6 \text{ cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

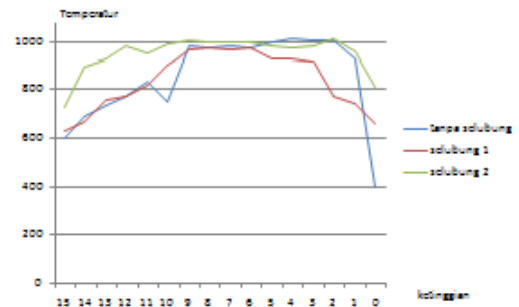
Sehingga : $T_{avg} = \frac{78135,6 \text{ cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{200,96 \text{ cm}^2} = 394,86^\circ\text{C}$

Hasil keseluruhan dari perhitungan temperatur rata – rata

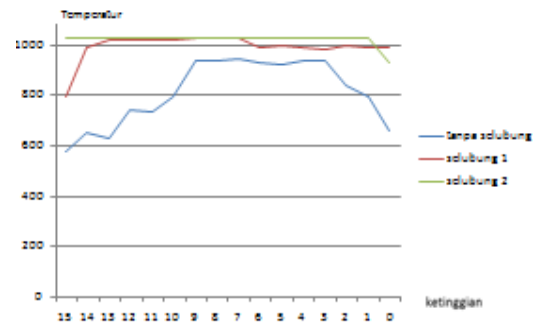
Tabel 12 Temperatur Rata-rata pada setiap ketinggian

h (cm)	Temperatur rata-rata								
	Tanpa selubung			selubung 1			selubung 2		
	1/2	3/4	penuh	1/2	3/4	penuh	1/2	3/4	penuh
30									
29									
28									
27									
26									
25									751
24									765
23									765
22									859
21									859
20					649	728	551	789	809
19					703	740	589	847	829
18					725	765	622	920	852
17					770	856	649	967	874
16					797	859	705	989	877
15	800	578	713	632	794	872	724	1023	875
14	692	655	719	671	987	922	897	1023	894
13	725	691	705	760	1017	917	928	1023	907
12	774	742	799	772	1015	944	980	1023	982
11	827	727	777	819	1017	924	947	1023	983
10	747	791	875	901	1012	985	989	1023	1014
9	979	938	925	986	1021	974	1002	1023	1023
8	967	939	856	949	1023	953	995	1023	1023
7	978	942	882	964	1020	954	992	1023	964
6	989	921	862	972	985	969	992	1023	958
5	995	917	922	925	994	975	977	1023	981
4	1009	938	926	925	985	989	976	1023	985
3	1000	925	929	916	976	971	981	1023	986
2	1001	829	943	775	995	964	1010	1023	1001
1	927	792	951	743	988	973	957	1023	988
0	885	659	577	661	984	979	811	928	982

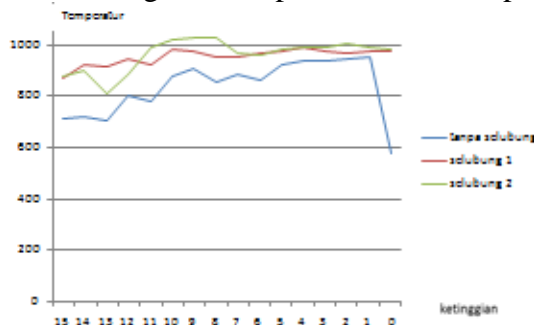
Grafik temperatur rata-rata api disetiap variasi terhadap ketinggian



Gambar 28. grafik temperatur rata-rata api 1/2



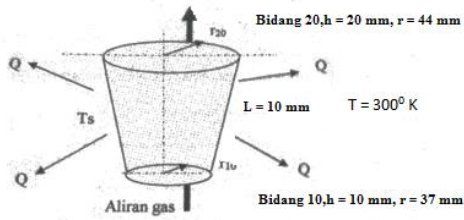
Gambar 29. grafik temperatur rata-rata api 3/4



Gambar 30. grafik temperatur rata-rata api penuh

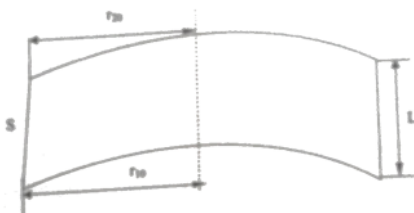
Perpindahan panas secara radiasi

Perpindahan panas secara radiasi pada api diakibatkan oleh emisi gas panas yang dihasilkan oleh proses pembakaran. Sebagai pendekatan untuk memudahkan analisa maka diasumsikan radiasi terjadi pada setiap luasan selimut bidang ketinggian api



Gambar 31. Penampang selimut api “burner” pada ketinggian

selimut kerucut terpancung tersebut kita bentangkan, maka akan didapatkan luasan selimut kerucut sebagai berikut :



Gambar 32. Luasan selimut kerucut terpancung

Selimut Kerucut :

$$s = \sqrt{(r_0 - r_1)^2 + L^2}$$

$$s = \sqrt{(37 - 35)^2 + 10^2}$$

$$s = 10,2$$

Sehingga didapatkan luasan selimut kerucut terpancung

$$\begin{aligned} A_s &= \pi (r_0 + r_1)s \\ &= 3,14 (35+37)10,2 \\ &= 64,1 \end{aligned}$$

Dari luasan kerucut diatas akan dicari perpindahan panas radiasi yang terjadi sepanjang luasan selimut yang mengelilingi api pada “burner” bukaan katup setengah.

Sebagai contoh perhitungan sebagai berikut :

$$Q_{0-1} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot (T_s^4 - T_\infty^4)$$

Dimana :

ε = Emisivitas gas panas (black body)

σ = Konstanta bolzman
($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$)

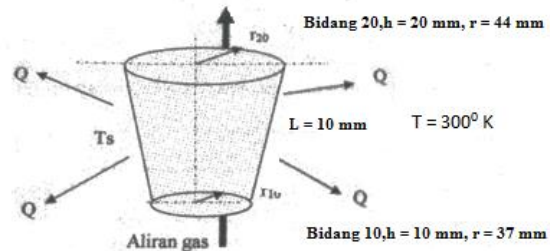
A_s = Luas selimut terpancung

T_s = Temperatur permukaan selimut kerucut terpancung

T_∞ = Temperatur sekeliling

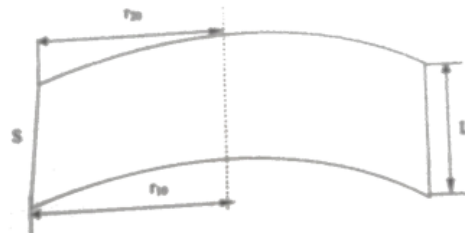
Perpindahan panas secara konveksi

Pada analisa konveksi, diasumsikan bahwa dinding api berbentuk plat vertikal dengan luasan selimut yang terpancung sepanjang dinding luar api. Sebagai contoh perhitungan diambil dari “burner” variasi bukaan setengah pada ketinggian 0 dan 1 dengan tahap sebagai berikut :



Gambar 33. Penampang selimut api “burner” pada ketinggian

Dari gambar diatas jika luasan selimut kerucut terpancung tersebut kita bentangkan, maka akan didapatkan luasan selimut kerucut sebagai berikut :



Gambar 34. Luasan selimut kerucut terpancung

$$s = \sqrt{(r_0 - r_1)^2 + L^2}$$

$$s = \sqrt{(37 - 35)^2 + 10^2}$$

$$s = 10,2$$

Sehingga didapatkan luasan selimut kerucut terpancung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A_s &= \pi (r_0 + r_1)s \\ &= 3,14 (35+37)10,2 \\ &= 64,1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_f &= (T_s + T_\infty)/2 \\ &= (965 + 300)/2 \\ &= 632,5^0\text{K} \end{aligned}$$

Dimana :

T_s = temperatur permukaan api sepanjang bidang 10 dan 20 = 965^0K

T_∞ = temperatur sekeliling = 300^0K
Sehingga didapat $T_f = 632,5^0\text{K}$

Dari tabel A4 untuk udara didapat :

$$\begin{aligned}v &= 57,68 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}, \\k &= 48,72 \times 10^{-3} \text{ W/m.K}, \\Pr &= 0,688 \\ \beta &= 0,00158 \text{ K}^{-1}\end{aligned}$$

Langkah selanjutnya mencari grashof number dan rayleigh number, yaitu :

$$\begin{aligned}Gr_s &= (g \cdot \beta \cdot (T_s + T_\infty) \cdot S_{tot}) / \nu^2 = 2537198,031 \\ Ra_s &= Gr_s \cdot Pr = 1745592,245\end{aligned}$$

Dari persamaan Nusselt number untuk aliran konveksi bebas pada permukaan vertikal, sebagai berikut :

$$\begin{aligned}Nu_{s,} &= (0,68 + 0,670 \cdot Ra_s^{1/4}) / (1 + (0,492 \cdot Pr)^{9/16})^{4/9} \\ &= 38,589\end{aligned}$$

Sehingga didapatkan koefisiensi konveksi rata-rata sebagai berikut :

$$h = Nu_{s,} \cdot k / S_{tot} = 9,740496$$

sedangkan perpindahan panas konveksi bebas adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}Q_{0-1} &= h \cdot A_s \cdot (T_s + T_\infty) \\ &= 9,740496 \cdot 0,064056 \cdot (965 - 300) \\ &= 417,83 \text{ W}\end{aligned}$$

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perbedaan profil temperatur isothermal dan tinggi api akan menyebabkan letak tinggi beban yang harus ditempatkan pada api menjadi berubah, sehingga mendapatkan panas yang optimal
2. Pada burner non premix dengan variasi bukaan katup dan penambahan selubung udara yang kita teliti, sangatlah memberi pengaruh terhadap distribusi temperatur api dan bentuk api yang dihasilkan.
3. Nilai tinggi beban ideal berdasarkan data distribusi temperatur adalah 8 cm dari burner untuk bukaan katup $\frac{1}{2}$ dengan penambahan selubung udara 1, beban ideal untuk bukaan katup $\frac{3}{4}$ berada pada 8 cm dari burner pada

dengan penambahan selubung udara 1 dan untuk bukaan katup penuh peletakan beban ideal pada ketinggian 8 cm dengan penambahan selubung udara 2

REFERENSI

- [1] Holman, J.P., and jasjfi, E., "Perpindahan Kalor edisi ke-6", Erlangga, Jakarta 1986.
- [2] Santoso, D., " Distribusi Temperatur Laminer Flame Flow", Tugas Akhir S1 ITS , Surabaya, 2001
- [3] Cahyono,Eko Budi., " Studi Eksperimental Pengaruh Jarak Nozzle Terhadap Distribusi Api Optimal Pada Burner Non Premix", Tugas Akhir S1 Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya,2005
- [4] Romi, Sujatmoko., "Studi Eksperimental Distribusi Temperatur Api Laminer dan Perhitungan Daya Kompom Gas Subsidi Pemerintah", Tugas Akhir S1 Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, 2009
- [5] Ribut, Mohammad , " Studi Eksperimental Distribusi Temperatur Api Laminer dan Variasi Sudut Reflektor Pada Kompom Gas Subsidi Pemerintah", Tugas Akhir S1 Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya,2009
- [6] Hariyono,"Pengaruh Bentuk Lubang Laluan Udara Divergen Konis Terhadap Pembakaran Pada Kompom Minyak Tanah Bersumbu", Tugas Akhir S1 ITS Surabaya, 2009