

## BAB IV

### HASIL DAN ANALISA

#### 4.1 DATA HASIL PERCOBAAN

Percobaan dilakukan dengan menggunakan dua jenis material ring, keramik dan AISI 304 sebagai *flame holder*. Dengan dikondisikan kedua material tersebut pada dimensi yang sama yaitu: diameter dalam 10 mm, diameter luar 30 mm dan tebal 5 mm serta pada burning load yang sama. Kedua material tersebut diuji dengan variasi tinggi ring dan laju aliran gas propana ( $C_3H_8$ ).

Kondisi percobaan :

Diameter barrel :  $D_b = 14 \text{ mm}$

Diameter luar kedua material :  $d_o = 30 \text{ mm} = 14 \times 10^{-3} \text{ m}$

Diameter dalam kedua material :  $d_i = 10 \text{ mm} = 10^{-2} \text{ m}$

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$

Kelembaban relatif ruangan 65 %

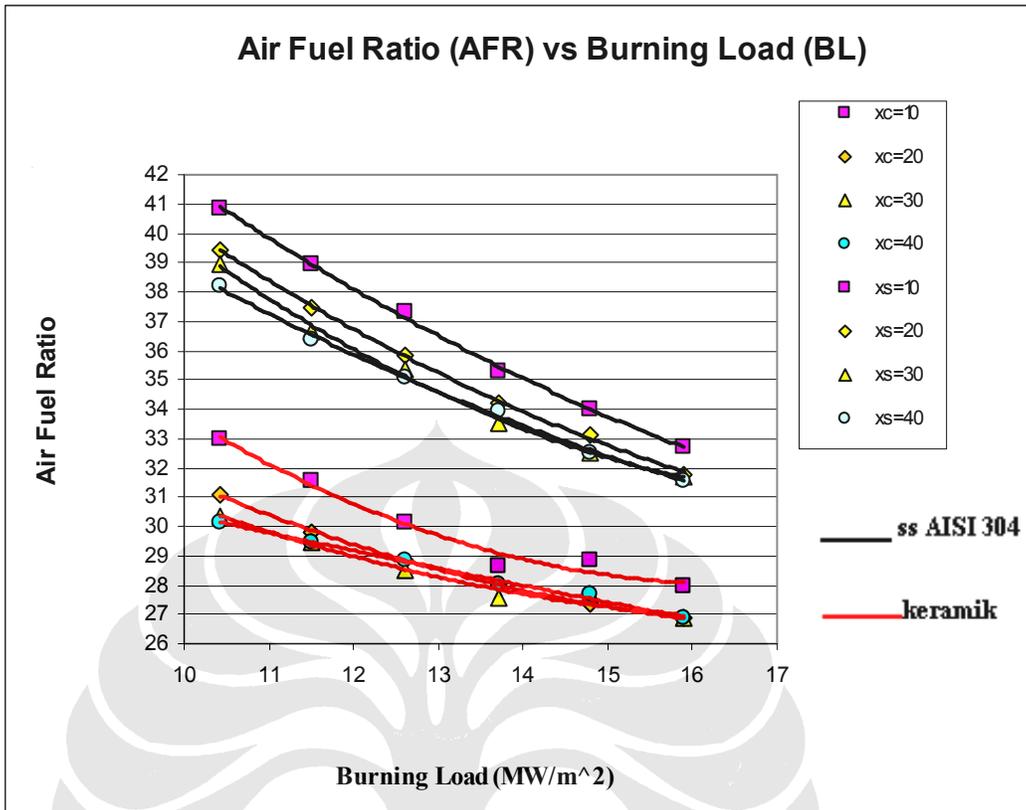
Kemurnian bahan bakar Propana ( $C_3H_8$ ) 98%

Temperatur ruangan =  $32^{\circ}\text{C}$

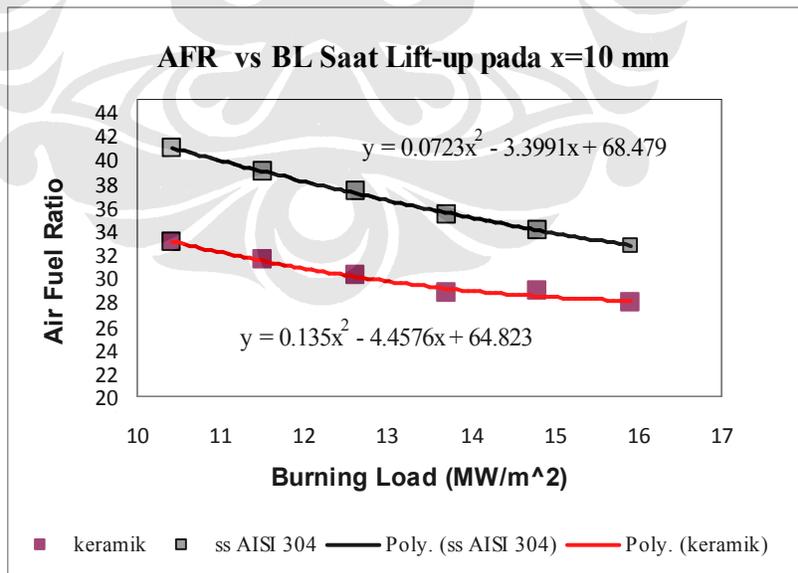
**4.2 DATA DAN ANALISA PERBANDINGAN *BURNING LOAD* DAN *AIR FUEL RATIO* PADA *LIFT-UP***

Tabel 4.1

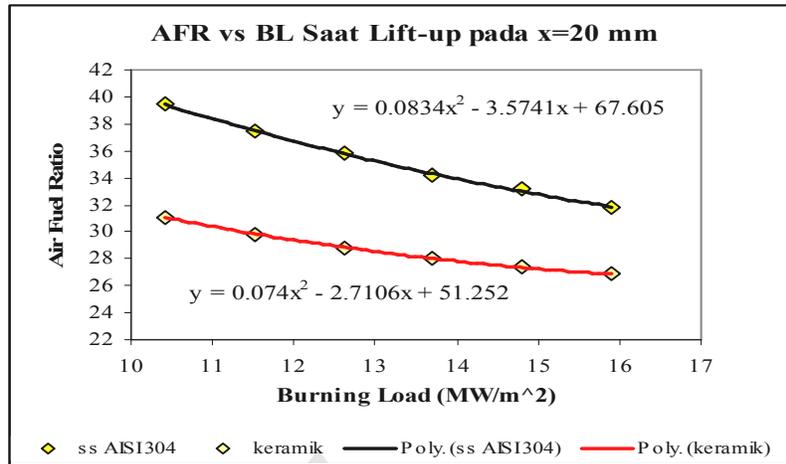
Ketinggian ring (h) (mm)	Indikator aliran gas (cm)	Burning Load (MW/m <sup>2</sup> )	AFR (Keramik)		AFR (AISI 304)	
			Lift-up	Blow-off	Lift-up	Blow-off
10	0,5	10,417	32,973	32,701	40,879	42.658
	1,0	11,513	31,575	32,108	38.917	40.688
	1,5	12,610	30,136	31,132	37.297	38.619
	2,0	13,706	28,641	31,147	35.259	36.476
	2,5	14,803	28,840	30,938	34.024	34.901
	3,0	15,899	27,960	29,659	32.727	33.193
20	0,5	10,417	31,074	31,338	39.456	42.480
	1,0	11,513	29,823	30,520	37.469	40.044
	1,5	12,610	28,830	28,991	35.827	37.737
	2,0	13,706	28,029	28,029	34.178	35.935
	2,5	14,803	27,380	29,432	33.148	34.901
	3,0	15,899	26,850	28,240	31.794	33.193
30	0,5	10,417	30,331	31,448	38.922	39.634
	1,0	11,513	29,478	30,520	36.664	37.630
	1,5	12,610	28,506	29,317	35.386	36.562
	2,0	13,706	27,573	28,334	33.502	34.854
	2,5	14,803	27,670	29,581	32.522	33.023
	3,0	15,899	26,851	27,820	31.678	32.261
40	0,5	10,417	30,164	31,824	38.211	39.456
	1,0	11,513	29,478	29,478	36.342	37.147
	1,5	12,610	28,829	28,507	35.092	35.533
	2,0	13,706	28,029	28,029	33.907	34.448
	2,5	14,803	27,669	28,252	32.522	33.023
	3,0	15,899	26,850	27,820	31.561	32.028



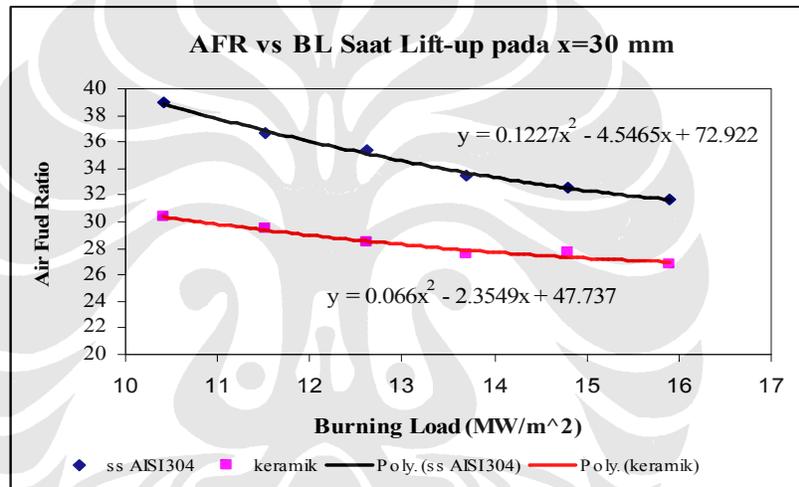
Gambar 4.1 Grafik perbandingan AFR versus Burning Load pada kedua material ring



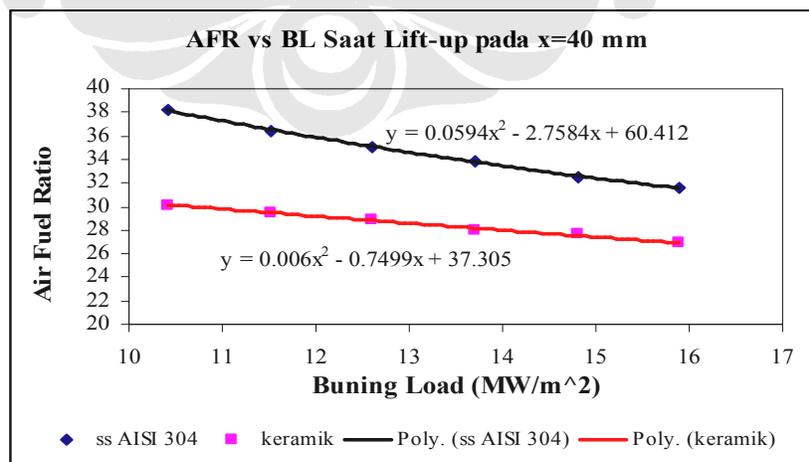
Gambar 4.1a Grafik perbandingan AFR versus Burning Load saat lift-up pada x=10 mm



Gambar 4.1b Grafik perbandingan AFR versus Burning Load saat *lift-up* pada x=20 mm



Gambar 4.1c Grafik perbandingan AFR versus Burning Load saat *lift-up* pada x=30 mm



Gambar 4.1d Grafik perbandingan AFR versus Burning Load saat *lift-up* pada x=40 mm

Mengacu pada Fuidge diagram, maka ditampilkan grafik AFR versus *Burning Load* seperti tampak pada gambar di atas. Grafik berwarna hitam dan tanda *legend* “xs” mewakili ring stainless steel sedangkan merah dan “xc” untuk ring keramik, “x” mewakili ketinggian ring yang terpasang. Dari grafik terlihat perbedaan hasil yang diberikan kedua material pada *Air Fuel Rationya* pada saat terjadinya *lift-up*. Secara umum baik material stainless steel maupun keramik menunjukkan penurunan AFR seiring penambahan *Burning Loadnya*. Terlihat pada grafik kurva menurun ke bawah untuk setiap ketinggian yang diberlakukan terhadap ring. Hal ini dikarenakan AFR dipengaruhi dari laju aliran udara terhadap laju aliran bahan bakar, semakin tinggi laju aliran gas maka akan semakin rendah nilai AFR-nya jika laju aliran udaranya tetap, begitu juga sebaliknya, sedangkan pada *Burning Load* sesuai persamaannya ( $BL = \frac{\dot{m}_f \times HV}{A}$ ), dapat disimpulkan bahwa semakin besar laju aliran bahan bakar dalam hal ini propane ( $C_3H_8$ ) justru membuat nilainya semakin besar yang berlawanan dengan hasil yang diberikan oleh AFR.

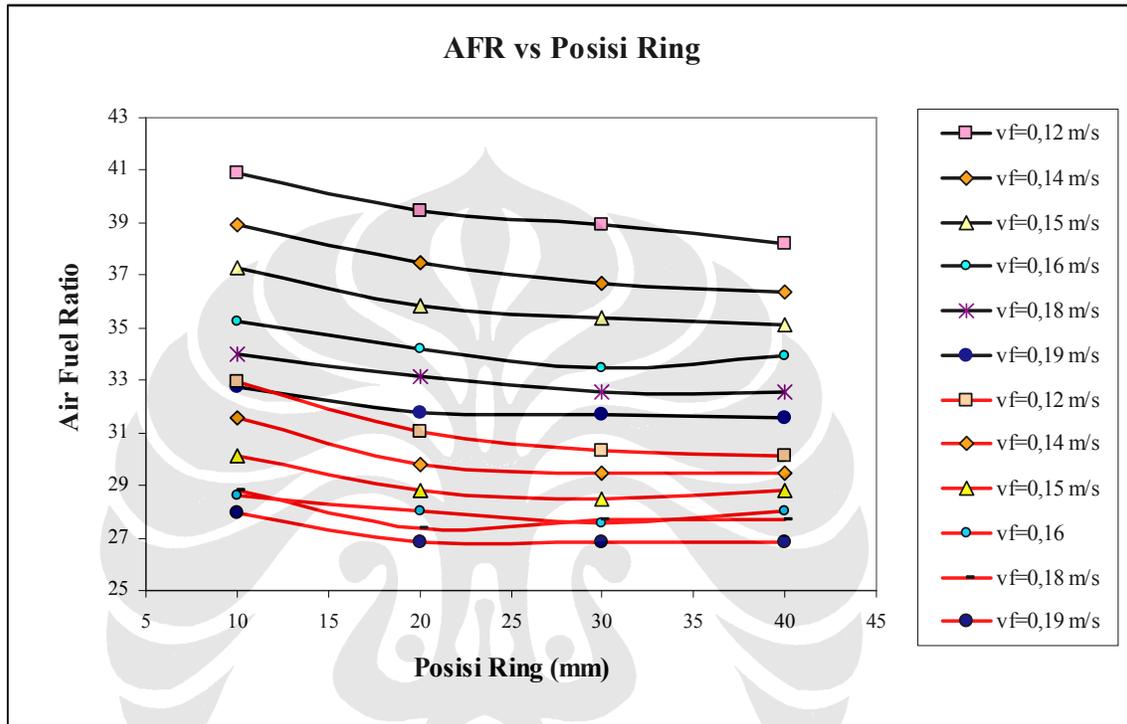
Jika dilihat dari aspek posisi ring, posisi ring yang semakin tinggi justru semakin rendah nilai AFRnya. Hal ini berlaku sama bagi kedua material tersebut. Nilai AFR tertinggi diraih pada jarak pasang ring 10 mm, hal ini berarti pada posisi tersebut campuran lebih kurus dari posisi yang lain. Selisih jarak yang diberikan dari jarak pasang ring 10 mm dengan ring 20 mm cukup jauh, ini dapat terlihat baik pada material ring keramik maupun material stainless steel. Namun dari jarak 20 mm ke 30 mm jarak perbedaan AFR mulai semakin mengecil bahkan pada jarak 30 mm ke 40 mm garis keduanya saling bersentuhan dan memotong. Ini berarti pada jarak 20 mm campurannya lebih kurus daripada jarak 30 dan 40 mm, dan semakin tinggi jarak ring yang dipasang campuran akan semakin tidak kurus dan perbedaan AFR-nya akan semakin kecil mendekati limit tertentu. Penyebab dari hal ini adalah semakin dekat ring dengan ujung burner maka hambatan yang ditimbulkan oleh ring semakin besar dibandingkan dengan posisi ring yang jauh dari ujung mulut burner. Untuk itu dibutuhkan momentum aliran campuran bahan bakar yang lebih besar dibandingkan dengan posisi ring yang jauh dari ujung mulut burner. Karena aliran gas telah ditetapkan lajunya maka laju aliran udara harus lebih tinggi untuk menimbulkan momentum aliran campuran udara dan bahan bakar yang lebih besar.

Dari segi material terlihat bahwa nilai AFR yang dihasilkan ring keramik jauh di bawah ring stainless steel untuk burning load yang sama. Sehingga terlihat bahwa fenomena flame *lift-up* tidak hanya dipengaruhi oleh medan aliran campuran gas dan bahan bakar. Karena dengan geometri ring dan burner yang sama namun perbedaan material ring saja telah menurunkan laju aliran udara yang dibutuhkan untuk terjadinya fenomena lift-up. Selisih AFR kedua material pada jarak 10 mm berkisar 4,8 hingga 8. Pada jarak 20 mm selisih yang dihasilkanpun berkisar 4,9 hingga 8,4 yang berarti kurang lebih serupa dengan jarak 10 mm, kisaran ini berlanjut pula pada jarak berikutnya yaitu 30 dan 40 mm. Yang menarik adalah gradien penurunan AFR pada kedua material. Terlihat bahwa semakin besar BL justru semakin kecil AFR yang dihasilkan. Pada jarak ring 10 mm, pada burning load terendah jarak beda AFR kedua material sebesar  $\approx 8$ , semakin tinggi burning load selisih beda yang dihasilkan semakin tipis. Untuk nilai BL tertinggi selisih AFR yang dihasilkan sebesar  $\approx 4,8$ . Nilai AFR maksimum dari ring stainless steel pada jarak ring terpasang 10 mm adalah  $\approx 41$  dan minimum pada  $\approx 33$ , selisih  $\approx 9$ . Bandingkan dengan ring keramik yang maksimum pada  $\approx 33$  dan minimum pada  $\approx 28$ , selisih  $\approx 5$ . Hal ini menunjukkan bahwa penurunan AFR pada ring stainless steel lebih curam daripada ring keramik. Ini dibuktikan pula pada ketinggian berikutnya. Pada ketinggian ring terpasang 20 mm, stainless steel selisih maksimum-minimum  $\approx 7,5$ ; sedangkan keramik  $\approx 4$ . Begitu pula pada ketinggian ring terpasang 30 mm, selisih maksimum-minimum  $\approx 7$  untuk stainless steel sedangkan untuk keramik yaitu  $\approx 3,5$ . Pada ketinggian ring terpasang 40 mm, selisih maksimum-minimum  $\approx 6,6$  untuk stainless steel dan  $\approx 3,3$  untuk keramik.

Dari aspek material diketahui keramik yang merupakan bahan inert memiliki kapasitas panas konduksi yang jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan stainless steel. Pada keramik konduktivitas panasnya berkisar antara 1,3-3,6 (W/mK) jauh berbeda dengan konduktivitas panas dari ring stainless steel AISI 304 sebesar 17,2 (W/mK) Dengan perbedaan kapasitas panas, dan sifat konduktivitas termalnya, maka keramik yang memiliki nilai yang lebih rendah ketika dipanaskan dengan cara dibakar terus menerus akan mencapai posisi *lift-up* lebih cepat daripada stainless steel sebab panas yang dibutuhkan pada keramik untuk mencapai posisi *lift-up* lebih kecil daripada stainless

steel. Hal ini yang menyebabkan AFR yang dibutuhkan dari material ring keramik untuk mencapai posisi *lift-up* jauh lebih rendah daripada stainless steel.

#### 4.2.1 Perbandingan AFR vs Posisi Ring saat *Lift-Up*



Gambar 4.2 Grafik perbandingan AFR vs Posisi Ring saat *Lift-up*

Pada grafik 4.2 terlihat bahwa trend AFR cenderung menurun seiring bertambahnya jarak dari ring terpasang. Seluruh garis yang dihasilkan dari ring stainless steel AISI 304 berada di atas garis yang dihasilkan keramik seperti yang dihasilkan pada grafik *Burning Load vs AFR*. Terlihat bahwa semakin besar laju aliran gas membuat nilai AFR menurun dengan maksimum AFR berada pada laju aliran gas  $vf=0,12$  m/s dan minimum dihasilkan oleh laju aliran gas  $vf=0,19$  m/s. Garis pada kecepatan aliran gas tertinggi yaitu pada  $vf=0,19$  m/s dari stainless steel mendekati garis dengan kecepatan aliran gas terendah yaitu pada  $vf=0,12$  m/s dan mayoritas berada di atas garis keramik.

### 4.3 DATA DAN ANALISA PERBANDINGAN PANJANG NYALA API PREMIX SAAT *LIFT-UP*

Tabel 4.2a

Ketinggian Ring (x) (mm)	Indikator Aliran Gas (mm)	Indikator Aliran Udara (cm)		Panjang Nyala Total(Hf) Keramik (mm)
		Lift-up	Blow-off	
10	5	19	20,9	310
	10	21,8	22,4	340
	15	23	24,5	360
	20	24,5	25	370
	25	25	25,8	380
	30	26,2	27	390
20	5	19,5	20	340
	10	21	21,8	370
	15	21,5	22,3	372
	20	22	22,5	374
	25	25	25,8	390
	30	25,4	26	400
30	5	19,6	20	320
	10	20,5	21	335
	15	21,8	22,2	353
	20	22,7	23	360
	25	24,6	25,2	380
	30	25	25,7	390
40	5	19	19,4	340
	10	19,8	20,4	350
	15	21	21,4	360
	20	22	22,5	370
	25	24,2	24,7	390
	30	25	25,5	405

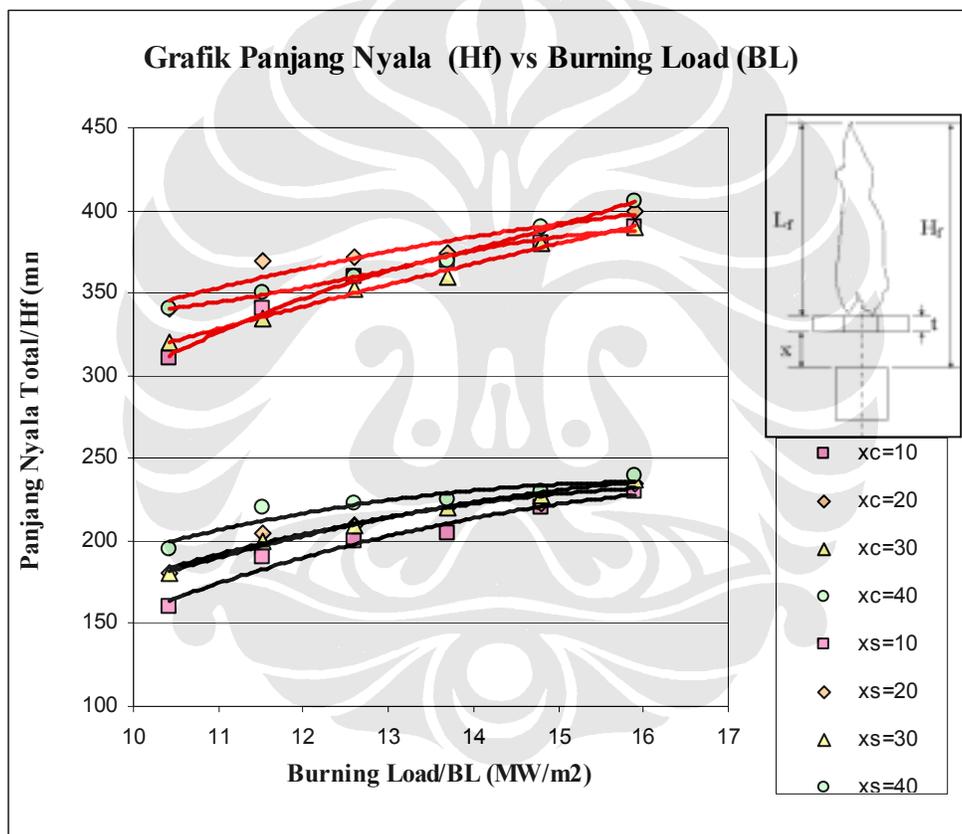
Tabel 4.2b

**Ring Stainless Steel AISI 304**

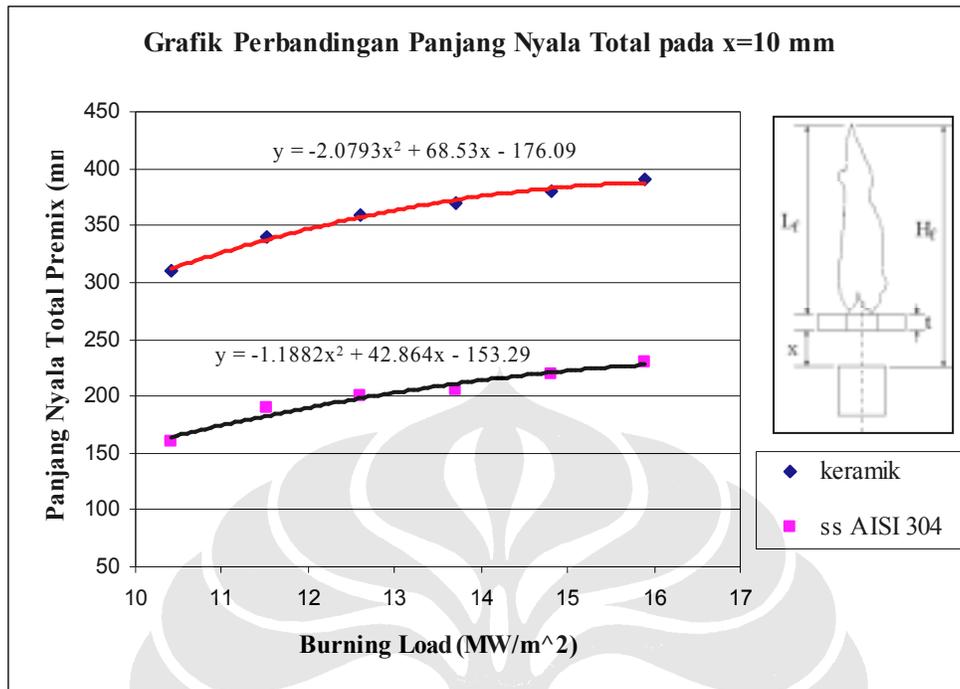
Ketinggian Ring (x) (mm)	Indikator Aliran Gas (cm)	Indikator Aliran Udara (cm)		Panjang Nyala Total/Hf AISI 304 (mm)
		Lift up	Blow off	
10	0,5	20,5	21,5	160
	1,0	21,7	22,8	190
	1,5	22,9	23,8	200
	2,0	23,6	24,5	205
	2,5	24,7	25,4	220
	3,0	25,6	26	230
20	0,5	19,7	21,4	180
	1,0	20,8	22,4	205
	1,5	21,9	23,2	210
	2,0	22,8	24,1	220
	2,5	24	25,4	223
	3,0	24,8	26	235
30	0,5	19,4	19,8	180
	1,0	20,3	20,8	200
	1,5	21,6	22,4	210
	2,0	22,3	23,3	220
	2,5	23,5	23,9	228
	3,0	24,7	25,2	237
40	0,5	19	19,7	195
	1,0	20,1	20,6	220
	1,5	21,4	21,7	223
	2,0	22,6	23	225
	2,5	23,5	23,9	230
	3,0	24,6	25	239

#### 4.3.1. Perbandingan Panjang Nyala Api *Lift-up* kedua material

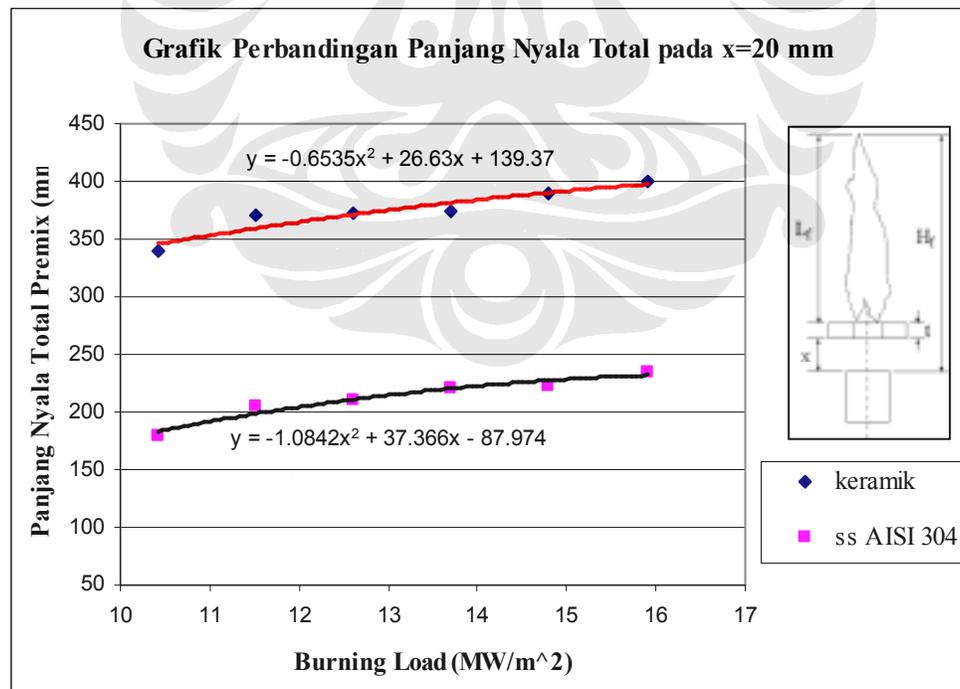
Dari tabel di atas terlihat secara signifikan perbandingan nyala yang dihasilkan kedua material tersebut. Panjang nyala total adalah panjang nyala yang diukur dari ujung mulut barrel hingga ujung nyala api non-luminous ( $H_f$ ) sedangkan tinggi nyala adalah pengukuran panjang nyala api non-luminous dari ujung ring ( $L_r$ ). Panjang nyala yang dihasilkan oleh ring berbahan keramik jauh lebih besar. Hal ini dapat dilihat pada perbandingan grafik fuidge diagram yang disajikan di bawah ini.



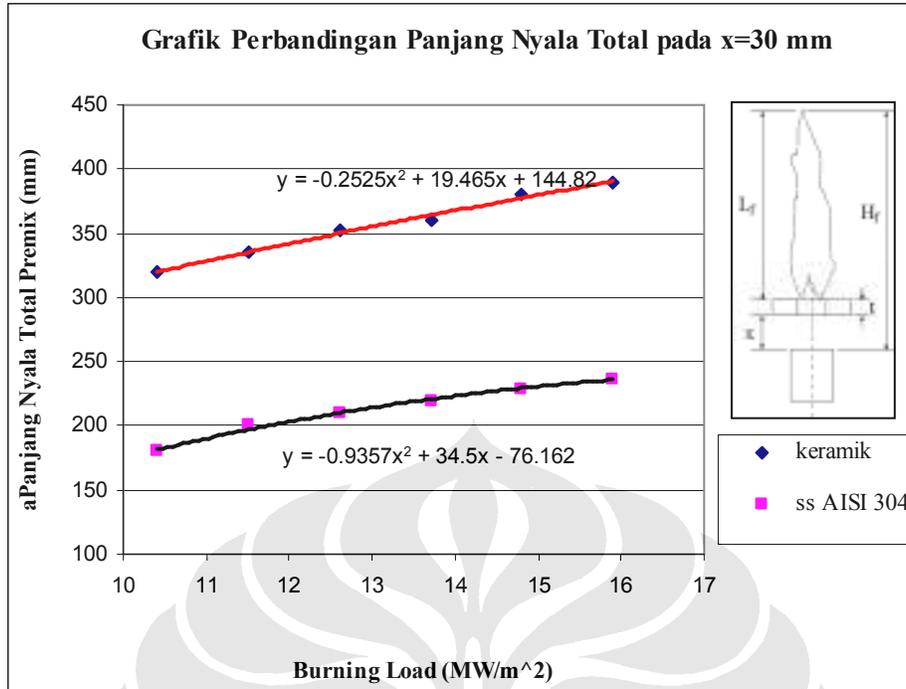
Gambar 4.3 Grafik perbandingan panjang nyala total *lift-up* vs *burning load*



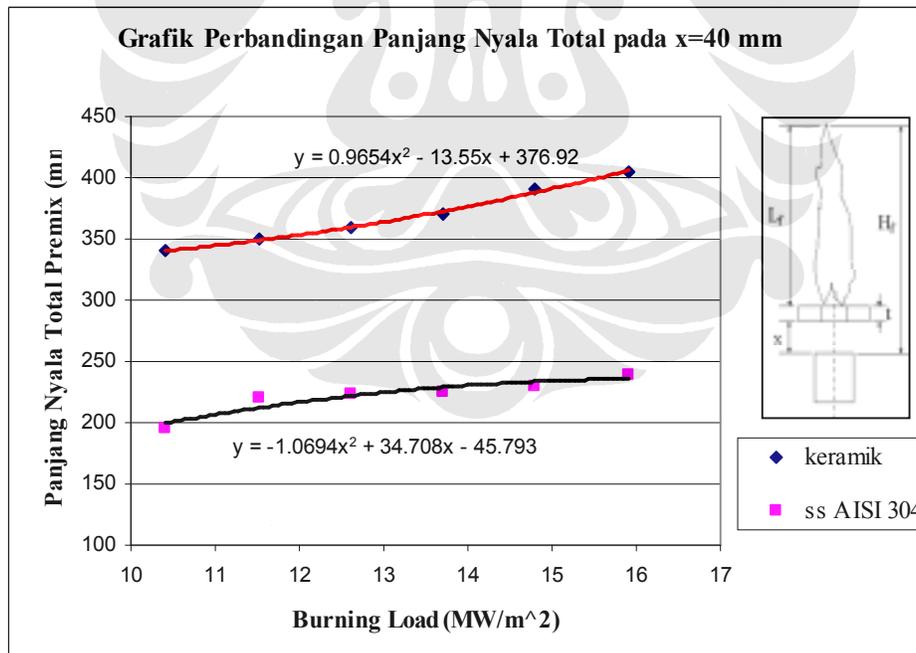
Gambar 4.3a Grafik perbandingan panjang nyala total kedua material pada x=10 mm



Gambar 4.3b Grafik perbandingan panjang nyala total kedua material pada x=20 mm



Gambar 4.3c Grafik perbandingan panjang nyala total kedua material pada x=30 mm



Gambar 4.3d Grafik perbandingan panjang nyala total kedua material pada x=40 mm

Terlihat pada keempat grafik fuidge diagram untuk keempat variabel ketinggian ring yang dipasang menunjukkan perbedaan ketinggian nyala api total *lift-up* ( $H_f$ ) yang diukur dari ujung mulut burner hingga puncak nyala api. Untuk material ring keramik panjang nyala api yang dihasilkan jauh lebih tinggi daripada material ring stainless steel untuk setiap ketinggian terpasang. Hal ini sesuai dengan penurunan nilai AFR-nya, semakin kecil nilai AFR-nya semakin tinggi nyala api yang dihasilkan begitu juga sebaliknya untuk nilai AFR yang semakin besar nyala api yang dihasilkan cenderung pendek. Hal ini juga sesuai pula dengan persamaan panjang nyala api premix yang diusulkan oleh Røkke. Persamaan Røkke menunjukkan korelasi antara panjang nyala yang sebanding dengan fraksi massa bahan bakar. Semakin turun nilai AFR berarti fraksi massa bahan bakar semakin tinggi sehingga panjang nyala api juga meningkat, dengan kata lain semakin besar *burning load* yang dibutuhkan semakin tinggi panjang nyala yang dihasilkan pula. Hal inilah yang membuat grafik 4.1 dengan 4.2 (a,b,c, dan d) berkebalikan. Persamaan Røkke akan dibahas lebih detail pada bahasan berikutnya.

Diameter dalam ring yang lebih kecil dari diameter *burner* diprediksi menghambat kestabilan nyala pada jarak pasang ring yang rendah akibat luas permukaan hambatan yang dilalui campuran bahan bakar dan udara. Akibat hambatan yang dilalui laju campuran bahan bakar-udara akan menyebabkan munculnya zona resirkulasi aliran campuran yang belum terbakar. Di mana penggunaan ring yang merupakan hambatan menimbulkan daerah-daerah di mana kecepatan semakin bertambah dan di daerah lainnya mengalami perlambatan laju aliran campuran di sekitar ring. Daerah yang mengalami pertambahan laju aliran campuran yaitu pada lubang diameter dalam ring dan lingkaran luar diameter luar ring, sedangkan daerah yang mengalami perlambatan yaitu daerah di atas ring. Percepatan dan perlambatan ini semakin besar nilainya seiring dengan semakin dekatnya jarak pasang ring. Pada jarak pasang ring yang rendah, akibat adanya resirkulasi yang lebih besar daripada jarak pasang ring lainnya maka panjang nyala api *premix* dari atas ring lebih panjang dari yang lainnya. Hal ini karena kecepatan campuran pada jarak yang rendah lebih besar daripada kecepatan campuran pada jarak pasang yang lebih tinggi. Dengan kecepatan nyala *premix* yang hampir sama, dengan kecepatan campuran lebih besar akan menghasilkan nyala api yang lebih panjang.

Rata-rata panjang nyala maksimum yang dapat dicapai oleh material ring keramik adalah  $\approx 400$  mm, dan minimum berkisar 310-340 mm. Sedangkan pada material ring stainless steel maksimum berkisar 230-240 dan minimum berada di kisaran 150-200. Pada ketinggian ring terpasang 10 mm, selisih panjang nyala kedua material berkisar 150-166 mm, begitu pula pada jarak 20 mm selisih panjang nyala kedua material berkisar 150-168, hal ini berlanjut pada jarak ring terpasang 30 mm dan 40 mm.. Hal lain yang diduga mempengaruhinya adalah kapasitas panas material yang amat berbeda. Stainless steel cenderung melepaskan energi panas jika telah mencapai temperatur tinggi, sedangkan keramik justru sebaliknya menyerap energi panas pembakaran karena kondisinya yang lebih rendah dari temperatur nyala disekitarnya. Hal ini juga didukung oleh penelitian dengan menggunakan burner keramik yang ternyata karakteristiknya seperti burner berpendingin air. Namun hal ini perlu dianalisa lebih lanjut dari aspek radiasi nyala, kerugian panas dan temperatur ring saat lift-up.

Dikarenakan nilai AFR stainless steel yang lebih besar dari keramik menyebabkan panjang nyala keramik jauh lebih besar dari stainless steel, ini dapat dibuktikan dengan keempat grafik fuidge diagram di atas. Beda AFR sangat signifikan terhadap panjang nyala yang dihasilkan.

#### 4.3.2 Perbandingan Tinggi Nyala Api Premix Experiment dan Teoritis

Tinggi nyala teoritis dari panjang nyala api dapat diberikan dari persamaan N.A Røkke et al, yaitu:

$$\frac{L}{d_b} = 33Y_f^{2/5} Fr^{1/5} \dots\dots\dots(4.1)$$

- dengan :
- L : panjang nyala total (mm)
  - $d_b$  : diameter barrel (mm)
  - $Y_f$  : Fraksi massa bahan bakar
  - Fr : bilangan Froud ( $v^2 / gd_0$ )
  - $v$  : kecepatan aliran ( $m/s^2$ )

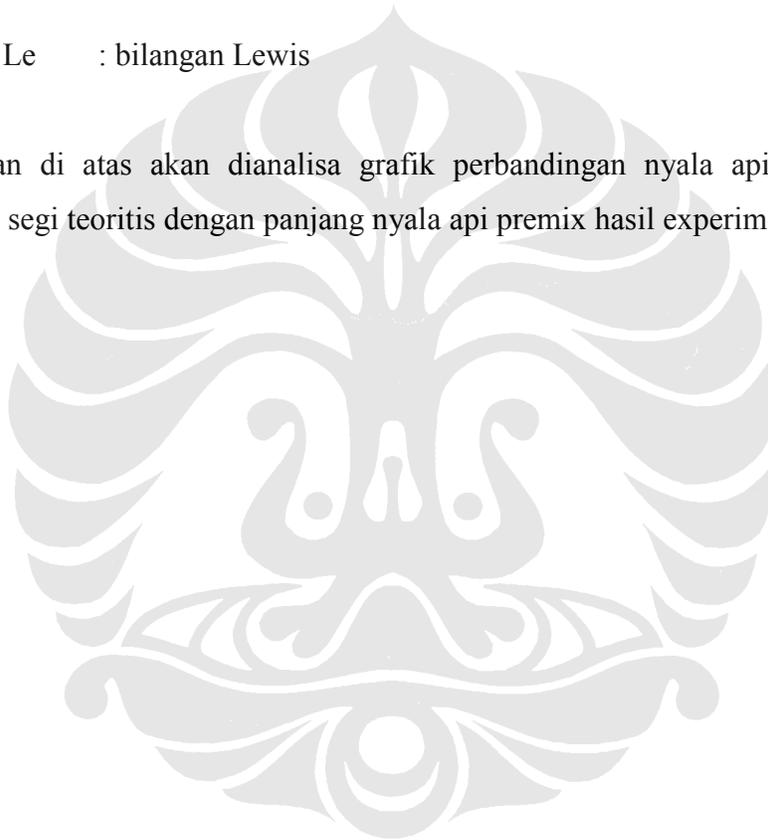
Persamaan tersebut hanya berlaku untuk bilangan Froud kurang dari 10.000.

Panjang nyala api premix yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh bilangan Lewis yang merupakan rasio momentum aliran terhadap gaya apung atau *buoyancy*. Dengan demikian nyala api premix dari persamaan N.A Røkke et al dikoreksi dengan bilangan Lewis menjadi:

$$\frac{L}{d_b} = 16Y_f^{0,3} Fr^{0,2} Le^{-0,1} \dots\dots\dots(4.2)$$

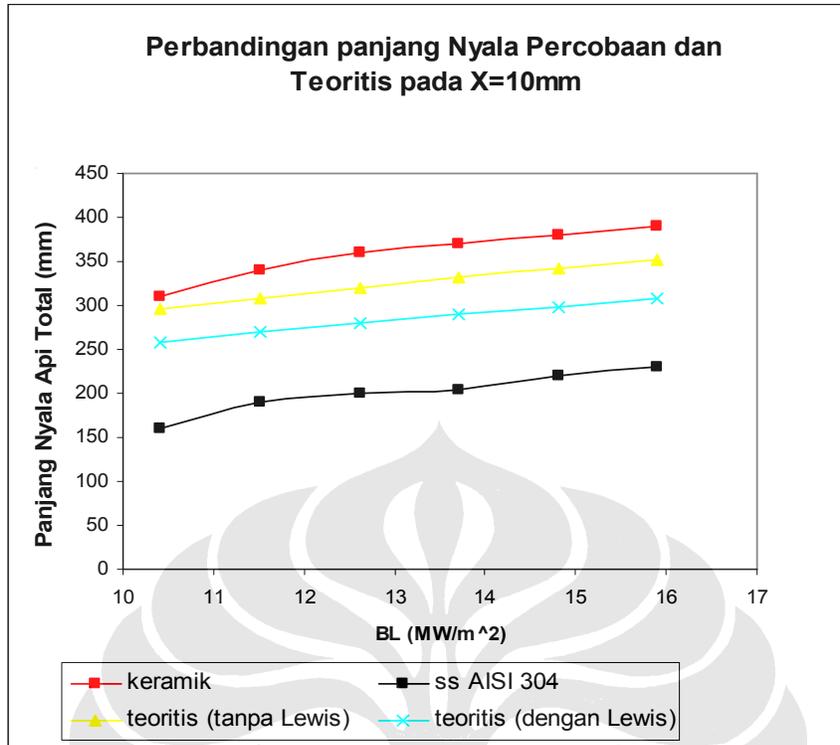
dengan :  $Le$  : bilangan Lewis

Dari persamaan di atas akan dianalisa grafik perbandingan nyala api premix yang dihasilkan dari segi teoritis dengan panjang nyala api premix hasil experiment.

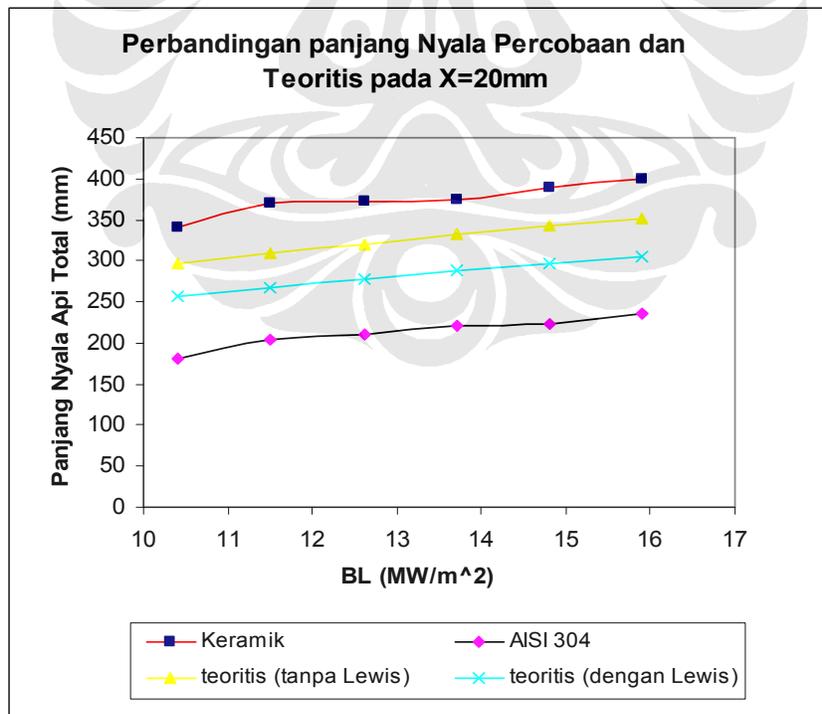


Tabel 4.3

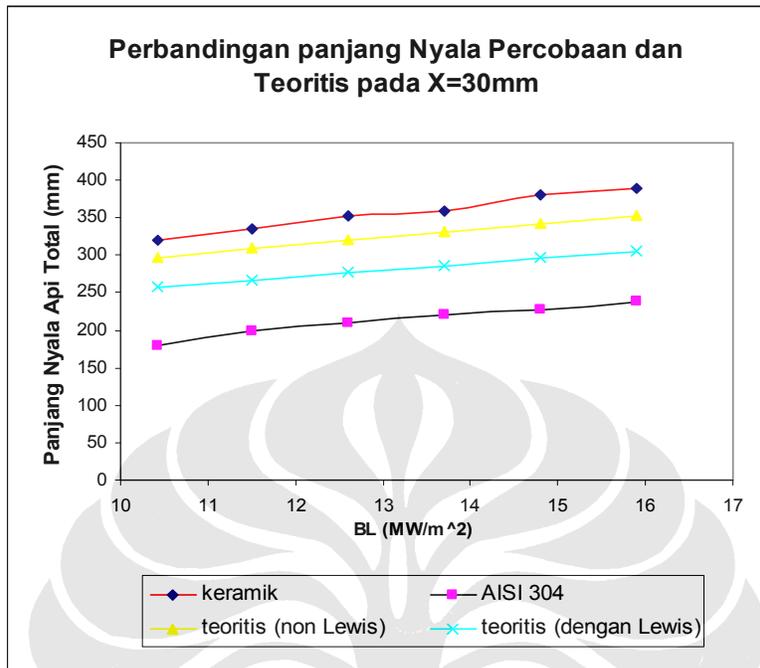
X (mm)	Indikator Aliran Gas (cm)	Indikator Aliran Udara (cm)		Hf (keramik)	Hf (AISI304)	Fr	Hf1	Bil	Hf2	Selisih panjang Nyala Experiment dan Teoritis (%)			
		<i>lift-up</i>	<i>blow-off</i>	experiment (mm)	perc (mm)	( $v^2/gd$ )	teoritis (mm)	Lewis	terkoreksi	Keramik		AISI 304	
										Non koreksi	Terkoreksi	Non koreksi	Terkoreksi
10	0.5	19	20.9	310	160	202	296.422	0.120	258.960	4.581	19.709	46.023	38.214
	1	21.8	22.4	340	190	225	308.651	0.113	269.779	10.157	26.029	38.442	29.572
	1.5	23	24.5	360	200	249	320.202	0.108	280.125	12.429	28.514	37.539	28.603
	2	24.5	25	370	205	264	331.223	0.105	289.049	11.707	28.006	38.108	29.078
	2.5	25	25.8	380	220	288	341.689	0.100	298.433	11.212	27.332	35.614	26.282
	3	26.2	26.8	390	230	309	351.725	0.097	307.100	10.882	26.994	34.608	25.106
20	0.5	19.5	20	340	180	189	296.505	0.124	257.265	14.669	32.160	39.293	30.033
	1	21	21.8	370	205	209	308.748	0.118	267.896	19.839	38.113	33.603	23.478
	1.5	21.5	22.3	372	210	231	320.313	0.112	278.060	16.136	33.784	34.439	24.477
	2	22	22.5	374	220	249	331.317	0.108	287.403	12.883	30.131	33.598	23.452
	2.5	25	25.3	390	223	274	341.772	0.103	297.013	14.111	31.307	34.752	24.919
	3	25.4	25.8	400	235	292	351.824	0.100	305.488	13.693	30.938	33.205	23.074
30	0.5	19.6	19.8	320	180	184	296.538	0.125	256.617	7.912	24.699	39.300	29.857
	1	20.5	21	335	200	201	308.805	0.120	266.826	8.483	25.550	35.234	25.045
	1.5	21.8	22.2	353	210	225	320.348	0.113	277.429	10.193	27.240	34.446	24.305
	2	22.7	23	360	220	240	331.378	0.110	286.355	8.637	25.718	33.611	23.172
	2.5	24.6	25.2	380	228	264	341.834	0.105	295.983	11.165	28.386	33.301	22.968
	3	25	25.7	390	237	290	351.836	0.100	305.284	10.847	27.750	32.639	22.367
40	0.5	19	19.4	340	195	178	296.583	0.128	255.744	14.639	32.946	34.251	23.752
	1	19.8	20.4	350	220	198	308.828	0.121	266.394	13.332	31.385	28.763	17.415
	1.5	21	21.4	360	223	222	320.372	0.114	277.004	12.369	29.962	30.393	19.496
	2	22	22.5	370	225	245	331.341	0.109	286.986	11.667	28.926	32.094	21.599
	2.5	24.2	24.7	390	230	264	341.834	0.105	295.983	14.090	31.764	32.716	22.293
	3	25	25.5	405	239	288	351.849	0.100	305.080	15.106	32.752	32.073	21.660



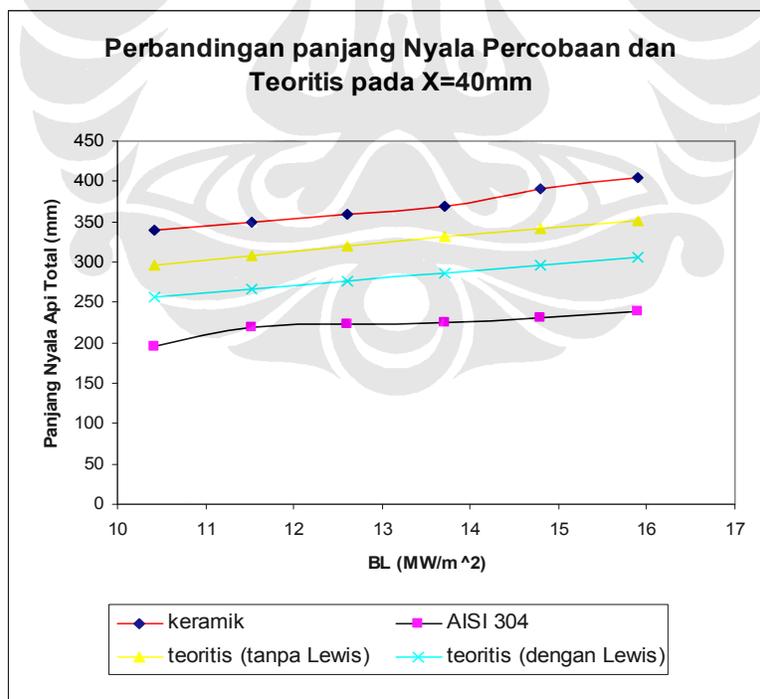
Gambar 4.4a Grafik perbandingan panjang nyala api premix pada x = 10 mm



Gambar 4.4b Grafik perbandingan panjang nyala api premix pada x = 20 mm



Gambar 4.4c Grafik perbandingan panjang nyala api premix pada x = 30 mm



Gambar 4.4d Grafik perbandingan panjang nyala api premix pada x = 40 mm

Dari tabel 4.3 dinyatakan bahwa bilangan Froud yang berkisar di kisaran 100-400 telah sesuai dengan syarat dari persamaan N.A Røkke et al yang menyatakan bahwa bilangan Froud untuk persamaan nyala api premix harus berada di bawah 10.000. Dengan demikian dapat dibuat analisa dari tabel tersebut dalam gambar diagram Fuidge Terlihat dari gambar diagram Fuidge bahwa panjang nyala api yang dihasilkan secara percobaan dari keramik dan stainless steel berada pada bagian paling atas dan paling bawah mengapit grafik panjang nyala dari perhitungan secara teoritis. Panjang nyala berdasarkan persamaan N.A Røkke et al tanpa terkoreksi oleh bilangan Lewis lebih besar dari panjang nyala dengan bilangan Lewis. Hal ini disebabkan karena konstanta dari panjang nyala terkoreksi oleh bilangan Lewis sebesar 16, jauh lebih kecil daripada yang tidak dikoreksi oleh bilangan Lewis yaitu sebesar 33. Ini menyebabkan panjang nyala api premix keramik lebih mendekati panjang nyala api premix tanpa bilangan Lewis, sedangkan panjang nyala api dari stainless steel lebih mendekati panjang nyala api dari bilangan Lewis.

