

BAB 4

ANALISA HASIL PENELITIAN

4.1 Data Hasil Percobaan

Percobaan dilakukan dengan menggunakan dua jenis material ring, keramik dan AISI 304 sebagai *flame holder*. Percobaan ini menggunakan dua buah ring keramik serta AISI 304 dengan kondisi dimensi yang dibedakan adalah diameter ring dalamnya. Diameter yang digunakan adalah diameter dalam 10 mm dan 14 mm. Sedangkan diameter luar dan ketebalan kedua ring tersebut sama, yaitu 30 mm sebagai diameter luar dan 5 mm sebagai ketebalan dari ringnya. Kedua material tersebut diuji dengan variasi tinggi ring dan laju aliran gas propana (C_3H_8).

Kondisi percobaan :

Diameter barrel : $D_b = 14 \text{ mm} = 14 \times 10^{-3} \text{ m}$

Diameter luar kedua material : $d_o = 30 \text{ mm} = 3 \times 10^{-2} \text{ m}$

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

: $d_i = 14 \text{ mm} = 14 \times 10^{-3} \text{ m}$

Tebal ring : $t = 5 \text{ mm} = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$

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

Kelembaban relatif ruangan 65 %

Kemurnian bahan bakar Propana (C_3H_8) 98%

Temperatur ruangan = 32° C

Setelah dilakukan percobaan, maka selanjutnya data dimasukkan ke dalam tabel pengambilan data.

Tabel 4.1 Temperatur ring pada saat Lift-Up ($d_i = 10$ mm)

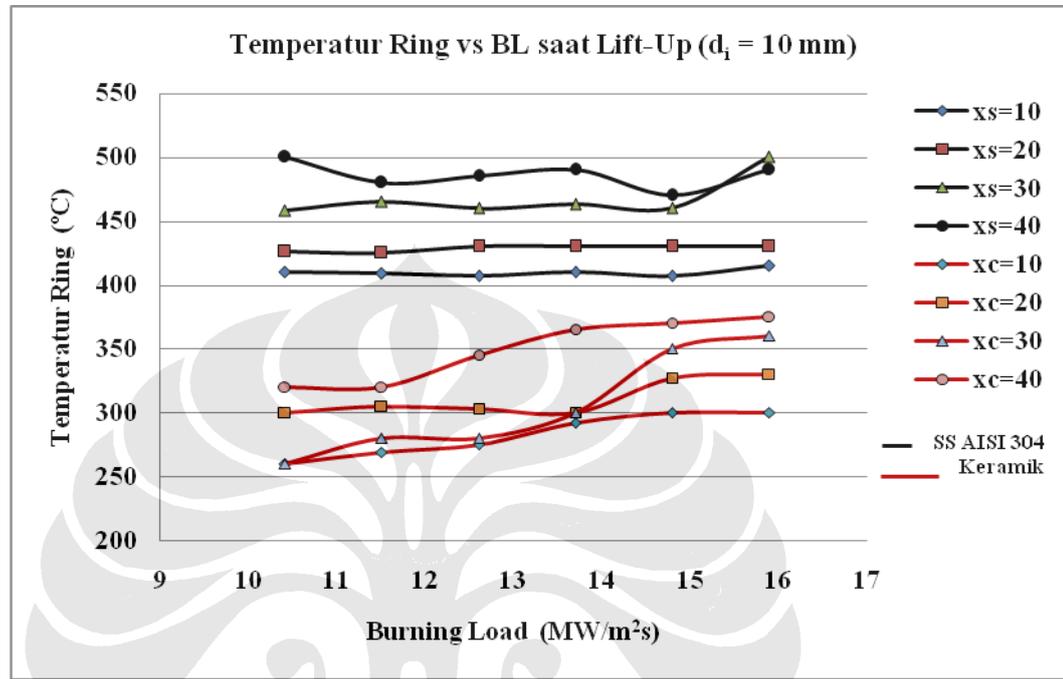
Ketinggian Ring (h) (mm)	Burning Load (MW/m ² s)	Indikator Aliran Gas (cm)	Temperatur ring saat Lift-Up	
			AISI 304	Keramik
10	10.41670246	0.5	410	260
	11.51319745	1	409	269
	12.60969245	1.5	407	275
	13.70618744	2	410	292
	14.80268244	2.5	407	300
	15.89917743	3	415	300
20	10.41670246	0.5	426	300
	11.51319745	1	425	305
	12.60969245	1.5	430	303
	13.70618744	2	430	300
	14.80268244	2.5	430	327
	15.89917743	3	430	330
30	10.41670246	0.5	458	260
	11.51319745	1	465	280
	12.60969245	1.5	460	280
	13.70618744	2	463	300
	14.80268244	2.5	460	350
	15.89917743	3	500	360
40	10.41670246	0.5	500	320
	11.51319745	1	480	320
	12.60969245	1.5	485	345
	13.70618744	2	490	365
	14.80268244	2.5	470	370
	15.89917743	3	490	375

Tabel 4.2 Temperatur ring pada saat Lift-Up ($d_i = 14 \text{ mm}$)

Ketinggian Ring (h) (mm)	Burning Load (MW/m ² s)	Indikator Aliran Gas (cm)	Temperatur ring saat Lift-Up	
			AISI 304	Keramik
10	10.41670246	0.5	505	544
	11.51319745	1	506	556
	12.60969245	1.5	505	552
	13.70618744	2	507	524
	14.80268244	2.5	505	504
	15.89917743	3	504	540
20	10.41670246	0.5	533	410
	11.51319745	1	530	405
	12.60969245	1.5	527	415
	13.70618744	2	535	456
	14.80268244	2.5	532	475
	15.89917743	3	529	483
30	10.41670246	0.5	598	455
	11.51319745	1	595	455
	12.60969245	1.5	599	500
	13.70618744	2	602	490
	14.80268244	2.5	600	483
	15.89917743	3	610	565
40	10.41670246	0.5	670	560
	11.51319745	1	659	580
	12.60969245	1.5	655	600
	13.70618744	2	666	605
	14.80268244	2.5	670	609
	15.89917743	3	665	620

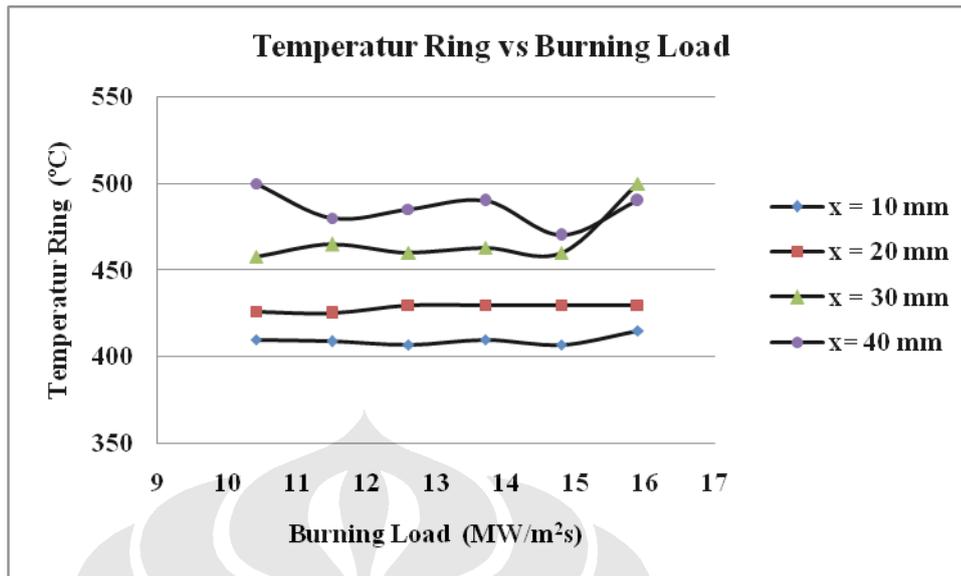
4.2 Analisa Data Hasil Percobaan Ring Diameter Dalam = 10 mm

Berdasarkan hasil percobaan dari tabel 4.1, maka dapat dibuat korelasi antara temperatur ring dengan burning load sebagai berikut.



Gambar 4.1 Grafik perbandingan temperatur ring versus burning load pada ring dengan diameter dalam = 10 mm

Gambar 4.1 menunjukkan grafik korelasi temperatur ring versus burning load, dimana untuk kondisi kedua ring material yang diujikan adalah yang memiliki diameter dalam 10 mm. Pada gambar di atas, garis dengan warna hitam mewakili warna garis grafik untuk ring material stainless steel AISI 304, sedangkan garis dengan warna merah untuk ring keramik, kemudian tanda legend “xc” adalah untuk ring keramik sedangkan “xs” untuk ring stainless steel. Grafik di atas hanya menunjukkan besarnya temperatur yang terukur pada kedua material ring pada saat terjadi fenomena flame lift-up, yaitu pada saat terjadinya fenomena nyala api duduk di atas ring. Grafik juga menunjukkan besar temperatur ring pada jarak ring sebesar 10 mm, 20 mm, 30 mm dan 40 mm. Yang perlu diperhatikan dari grafik pada gambar 4.1 adalah untuk material keramik, temperatur ring pada saat lift-up lebih rendah jika dibandingkan dengan temperatur ring untuk material stainless steel.

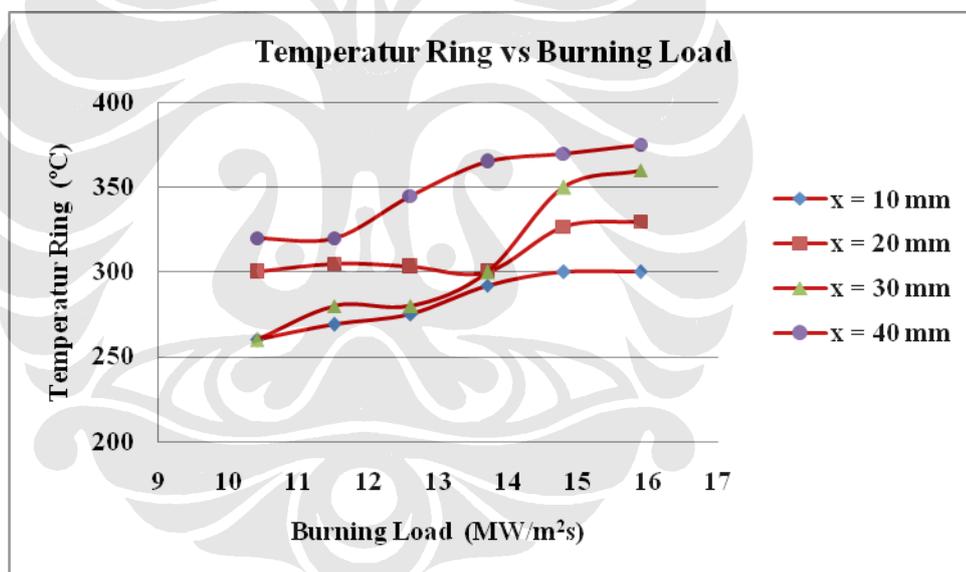


Gambar 4.2 Grafik perbandingan temperatur ring versus burning load pada ring SS AISI 304 dengan diameter dalam = 10 mm

Gambar 4.2 menunjukkan grafik temperatur ring untuk material stainless steel saat lift-up. Dari grafik terlihat bahwa, pada jarak ring dengan barel yang sama, kurva menunjukkan nilai temperatur mendekati sama, hal ini mengindikasikan bahwa pada jarak yang sama, semakin besar burning load maka temperatur yang terukur menunjukkan nilai temperatur yang hampir sama, atau kurva hampir membentuk garis lurus. Secara umum, grafik di atas menunjukkan nilai temperatur yang hampir sama seiring dengan kenaikan nilai burning load.

Jika ditinjau dari aspek posisi ring, semakin tinggi posisi ring dengan mulut barel maka semakin tinggi pula nilai temperatur ring yang terukur saat lift-up. Pada penelitian fenomena flame lift-up yang sebelumnya, semakin tinggi posisi ring dengan ujung barel maka semakin rendah nilai AFR-nya []. Hal ini menunjukkan bahwa semakin rendah nilai AFR, maka campuran udara dengan bahan bakar akan semakin kaya atau campurannya lebih gemuk seiring semakin tinggi jarak ring. Hal ini akan membuat nilai temperatur yang terukur pada ring akan semakin besar seiring dengan meningkatnya jarak posisi ring terhadap ujung barel.

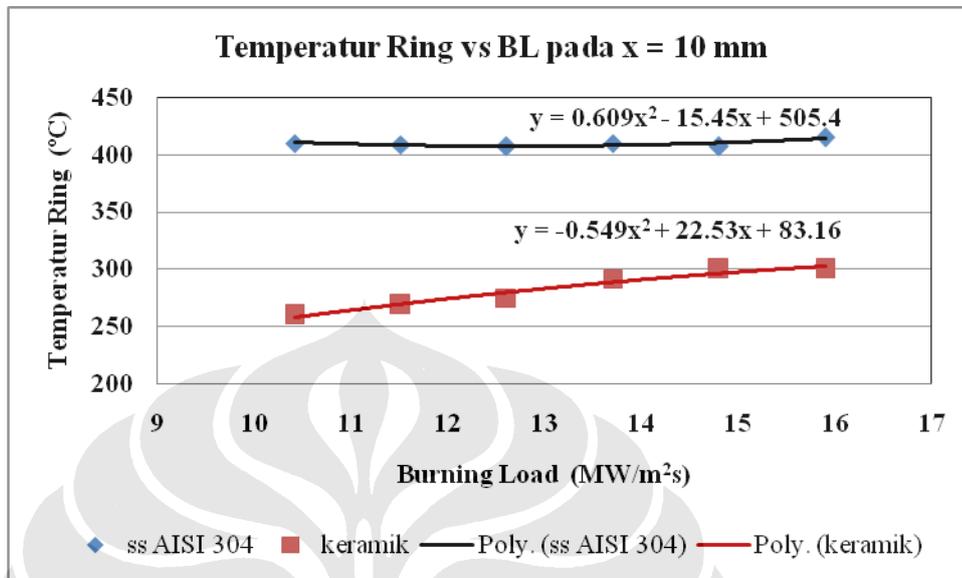
Apabila ditinjau dari segi material ring, terlihat bahwa besar nilai temperatur ring yang terukur pada ring keramik lebih kecil dibandingkan dengan nilai temperatur ring stainless steel. Hal ini disebabkan karena material keramik memiliki kapasitas konduksi termal yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan material stainless steel. Pada ring keramik, konduktifitas termalnya berkisar antara 1.3 – 3.6 (W/mK), jauh berbeda dengan konduktifitas termal yang dimiliki oleh ring stainless steel AISI 304 yaitu sebesar 17.2 (W/mK). Konduktifitas atau kehantaran termal adalah suatu besaran intensif bahan yang menunjukkan kemampuannya untuk menghantarkan panas. Dari perbedaan besarnya nilai konduktifitas termal sehingga mengakibatkan perbedaan kapasitas panas tiap material ring, maka keramik yang memiliki nilai lebih rendah akan menghasilkan nilai temperatur ring yang lebih kecil dibandingkan dengan stainless steel.



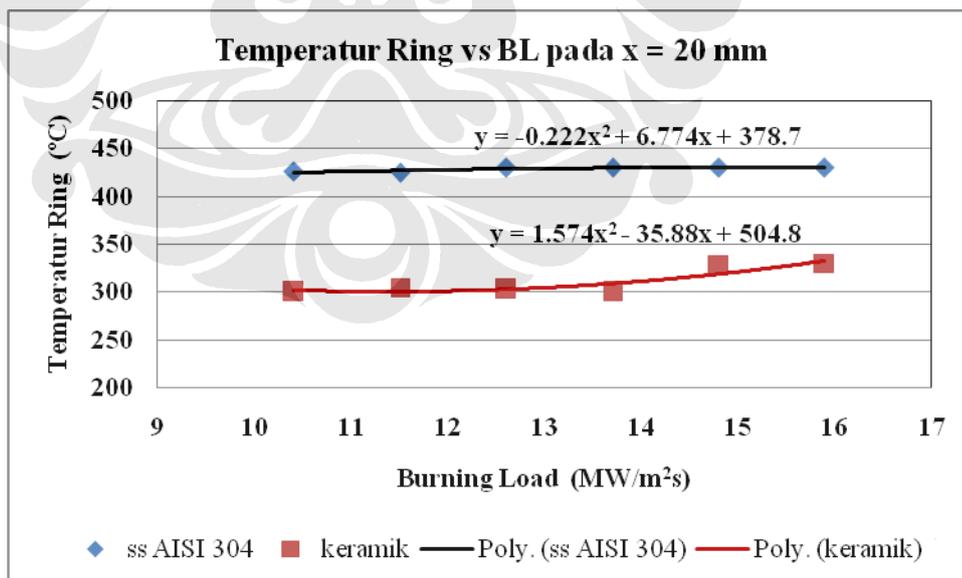
Gambar 4.3 Grafik perbandingan temperatur ring versus burning load pada ring keramik dengan diameter dalam = 10 mm

Gambar 4.3 menunjukkan grafik perbandingan temperatur ring terhadap burning load pada ring keramik. Sama dengan grafik pada gambar 4.2, yaitu dimana untuk jarak posisi ring keramik terhadap mulut barel yang semakin besar, maka temperatur ring yang terukur juga ikut semakin meningkat. Pada jarak ring yang tetap, hal yang sama juga terjadi ketika burning load semakin meningkat maka temperatur ring keramik juga ikut meningkat. Hal ini disebabkan karena

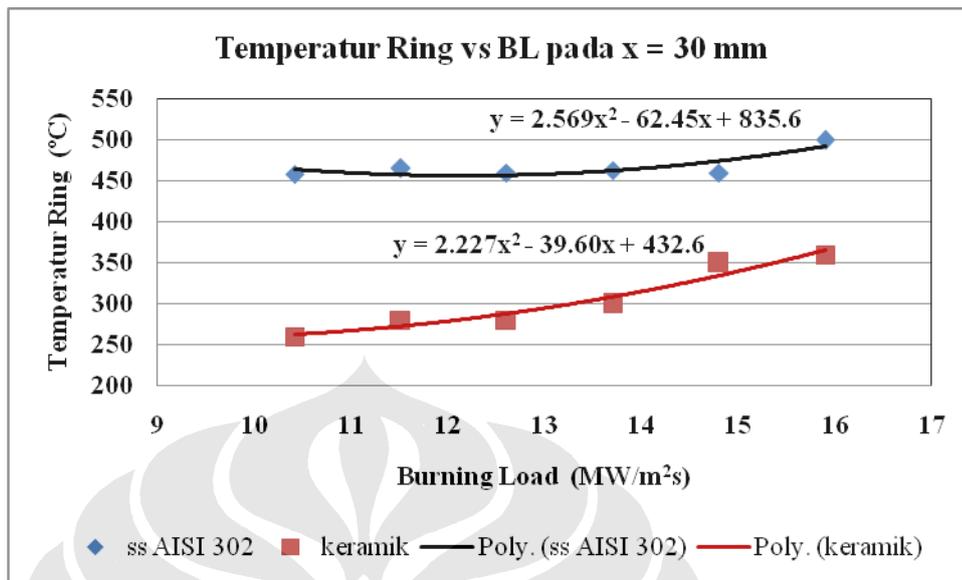
meningkatnya burning load dapat membuat campuran udara dan bahan bakar (AFR) menurun, sehingga membuat campuran semakin kaya.



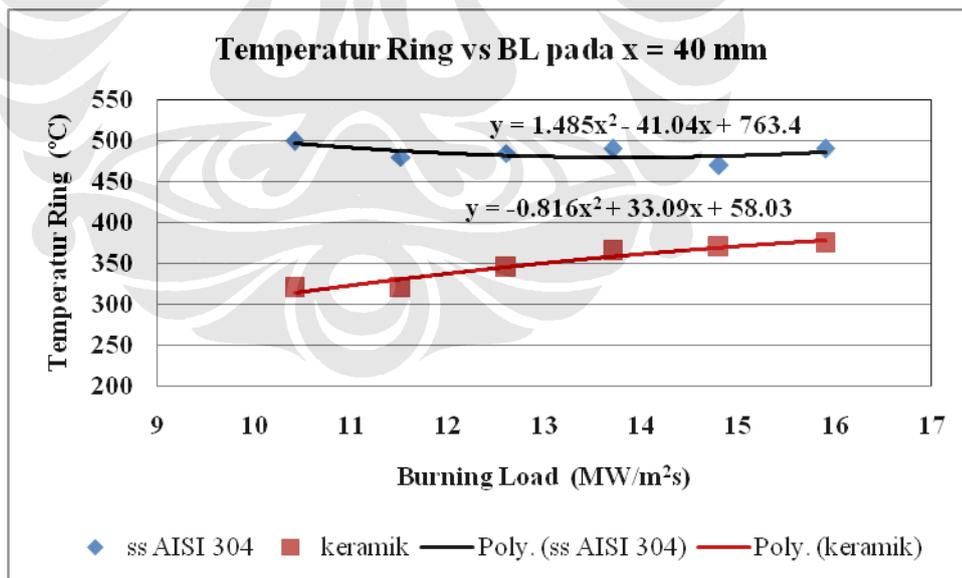
Gambar 4.4 Grafik perbandingan temperatur ring versus burning load saat lift-up pada posisi jarak ring = 10 mm



Gambar 4.5 Grafik perbandingan temperatur ring versus burning load saat lift-up pada posisi jarak ring = 20 mm



Gambar 4.6 Grafik perbandingan temperatur ring versus burning load saat lift-up pada posisi jarak ring = 30 mm

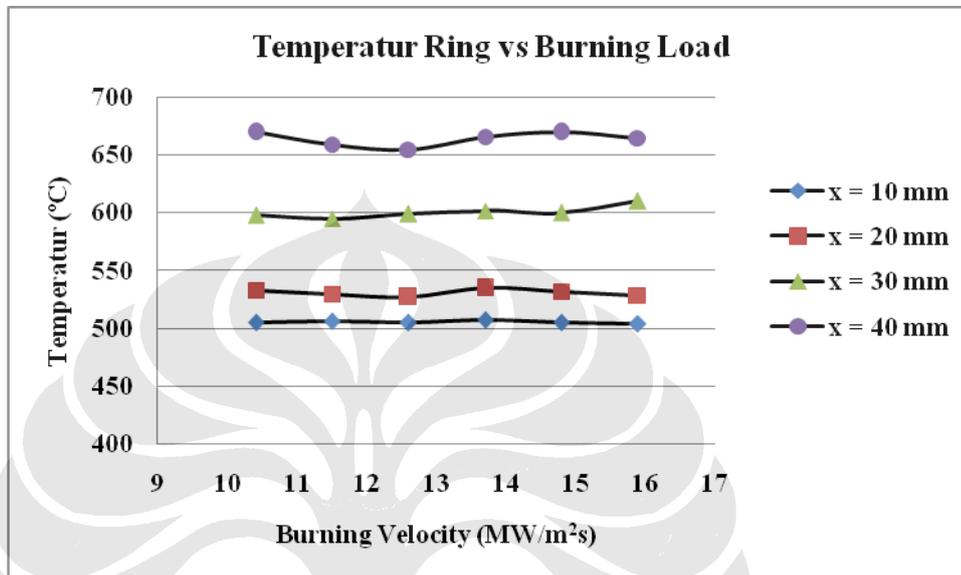


Gambar 4.7 Grafik perbandingan temperatur ring versus burning load saat lift-up pada posisi jarak ring = 40 mm

Grafik – grafik pada halaman sebelumnya menunjukkan perbandingan kurva temperatur ring antara material stainless steel dengan keramik, pada jarak posisi ring yang sama. Pada posisi jarak ring sebesar 10 mm, temperatur yang terukur pada ring stainless steel berkisar antara 407 – 415 °C, sedangkan temperatur ring keramik mulai dari 260 °C kemudian meningkat hingga 300 °C. Pada posisi jarak ring sebesar 20 mm, temperatur yang terukur pada ring stainless steel berkisar antara 425 – 430 °C, sedangkan temperatur ring keramik mulai dari 300 °C kemudian meningkat hingga 330 °C. Pada posisi jarak ring sebesar 30 mm, temperatur yang terukur pada ring stainless steel berkisar antara 458 – 500 °C, sedangkan temperatur ring keramik mulai dari 260 °C kemudian meningkat hingga 360 °C. Pada posisi jarak ring sebesar 40 mm, temperatur yang terukur pada ring stainless steel berkisar antara 470 – 500 °C, sedangkan temperatur ring keramik mulai dari 320 °C kemudian meningkat hingga 375 °C.

Garis temperatur dari stainless steel AISI 304 berada di atas garis temperatur keramik, ini dipengaruhi oleh besar kapasitas panas. Trend line yang dihasilkan oleh ring stainless steel AISI 304 cenderung membentuk kurva garis lurus mendatar. Ini mengindikasikan bahwa temperatur yang dibutuhkan ring stainless steel untuk mencapai posisi lift-up dari kenaikan burning load yang diberikan, cenderung sama. Lain halnya dengan keramik, semakin tinggi burning load yang diberikan, maka semakin tinggi temperatur ring yang dihasilkan.

4.3 Analisa Data Hasil Percobaan Ring Diameter Dalam = 14 mm



Gambar 4.8 Grafik perbandingan temperatur ring versus burning load pada ring stainless steel dengan diameter dalam = 14 mm

Gambar 4.8 menunjukkan grafik perbandingan temperatur ring stainless steel versus burning load, untuk dimensi ring dengan diameter dalam 14 mm. Dari gambar terlihat bahwa kecenderungan grafik yang hampir membentuk garis lurus, dimana grafik di atas memiliki kecenderungan yang juga hampir sama dengan grafik temperatur untuk ring dengan diameter dalam 10 mm. Dari grafik juga terlihat bahwa semakin tinggi jarak posisi ring dengan mulut barel, maka nilai temperatur ring yang terukur juga semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin tinggi posisi ring dengan ujung barel maka semakin rendah nilai AFR-nya []. Hal ini menunjukkan bahwa semakin rendah nilai AFR, maka campuran udara dengan bahan bakar akan semakin kaya atau campurannya lebih gemuk seiring semakin tinggi jarak ring. Hal ini akan membuat nilai temperatur yang terukur pada ring akan semakin besar seiring dengan meningkatnya jarak posisi ring terhadap ujung barel.

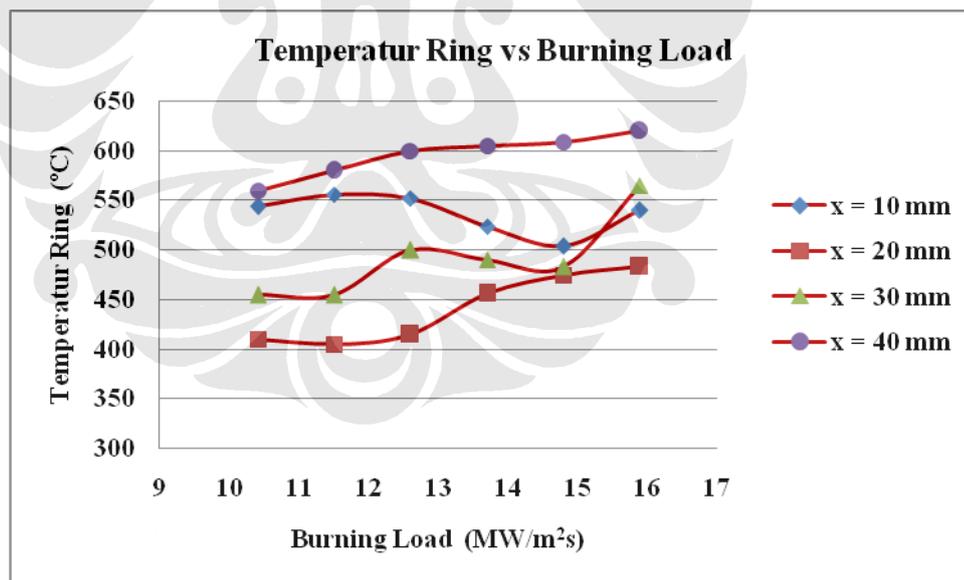
Kondisi seperti ini juga dialami untuk ring dengan diameter dalam 10 mm. Namun yang menjadi pembeda dengan grafik sebelumnya adalah besarnya nilai temperatur yang terukur pada ring ini. Pada jarak posisi ring yang sama yaitu sebesar 10 mm, temperatur ring dengan diameter dalam 14 mm berkisar antara 504 °C hingga 507 °C, jauh lebih tinggi apabila dibandingkan dengan ring dengan diameter dalam 10 mm yaitu berkisar antara 407 °C hingga 415 °C. Begitu pula untuk jarak posisi ring 20 mm, 30 mm dan 40 mm. Hal ini dikarenakan diameter dalam ring sebesar 14 mm yang sama dengan diameter mulut barel itu sendiri. Sehingga rasio antara diameter dalam ring dengan diameter barel adalah 1. Hal ini akan membuat aliran campuran bahan bakar dan udara yang melewati ring tidak akan terhalang oleh geometri dari ring stainless steel tersebut, sehingga tidak terjadi hambatan terhadap laju aliran fluida.

Jika dibandingkan dengan ring stainless steel dengan diameter dalam 10 mm, maka besaran rasio antara diameter dalam ring dengan mulut barel menjadi 0.3. Hal ini mengakibatkan ada sebagian dari campuran udara dan bahan bakar yang membentur atau terhalang oleh ring, sehingga apabila terjadi fenomena flame lift up, maka temperatur pada ring stainless akan terpengaruh oleh laju aliran campuran udara dan bahan bakar sehingga akan mempengaruhi pengukuran temperatur ring. Keadaan ini yang menjadikan temperatur ring untuk diameter dalam 10 mm lebih kecil dibandingkan dengan ring diameter dalam 14 mm. Dengan demikian, ketika fenomena flame lift-up terjadi, zona kosong di bawah ring dengan diameter dalam 10 mm akan membentuk aliran campuran udara dan bahan bakar yang belum terbakar yang dapat mendinginkan ring tersebut, sehingga besaran nilai temperatur yang terukur menjadi berbeda dengan ring diameter dalam 14 mm. Aliran campuran udara dan bahan bakar yang belum terbakar yang keluar dari barel sebagian akan melewati lubang ring tersebut dan sebagian lagi ada yang terhalang oleh ring tersebut.

Diameter dalam ring yang lebih kecil dari diameter burner diperkirakan 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 dan udara akan menyebabkan munculnya zona resirkulasi aliran campuran yang belum terbakar.

Dibandingkan dengan ring dengan diameter dalam 14 mm, maka laju aliran campuran udara dan bahan bakar tidak akan terhalang, sehingga sebagian besar aliran udara dan bahan bakar yang keluar dari mulut barel akan melewati lubang tengah ring stainless steel tersebut. Hal ini yang membuat nilai temperatur ring yang lebih besar. Pada kondisi ini ada juga sebagian kecil dari aliran campuran udara dan bahan bakar yang keluar akan terhalang oleh geometri dari ring, sehingga terjadi proses pendinginan terhadap bagian bawah ring.

Hal yang sama juga terjadi untuk ring keramik dengan diameter dalam 14 mm yang dibandingkan dengan ring keramik dengan ukuran diameter dalam 10 mm. Temperatur yang terukur pada ring dengan ukuran diameter dalam 14 mm, pada jarak posisi ring yang sama yaitu 10 mm, menunjukkan besaran temperatur ring mulai dari 504 °C hingga 556 °C, jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan temperatur ring keramik dengan diameter dalam 10 mm, yaitu mulai dari 260 °C hingga 300 °C. Hal yang sama juga terjadi pada temperatur ring yang terukur pada jarak 20 mm, 30 mm, serta 40 mm.



Gambar 4.9 Grafik perbandingan temperatur ring versus burning load pada ring keramik dengan diameter dalam = 14 mm

Hal ini terjadi karena besar diameter dalam dari ring keramik yang sama dengan besarnya diameter mulut barel. Kondisi ini yang membuat temperatur ring

keramik diameter dalam 14 mm lebih tinggi jika dibandingkan dengan yang memiliki diameter dalam 10 mm. Kembali di sini yang menjadi penyebabnya adalah aliran dari campuran udara dan bahan bakar yang membuat terjadinya proses pendinginan sehingga temperatur ring keramik dengan diameter dalam 10 mm lebih kecil dibandingkan dengan temperatur ring dengan diameter dalam 14 mm.

4.4 Perbandingan Panjang Nyala Api Lift-Up dengan Temperatur Ring

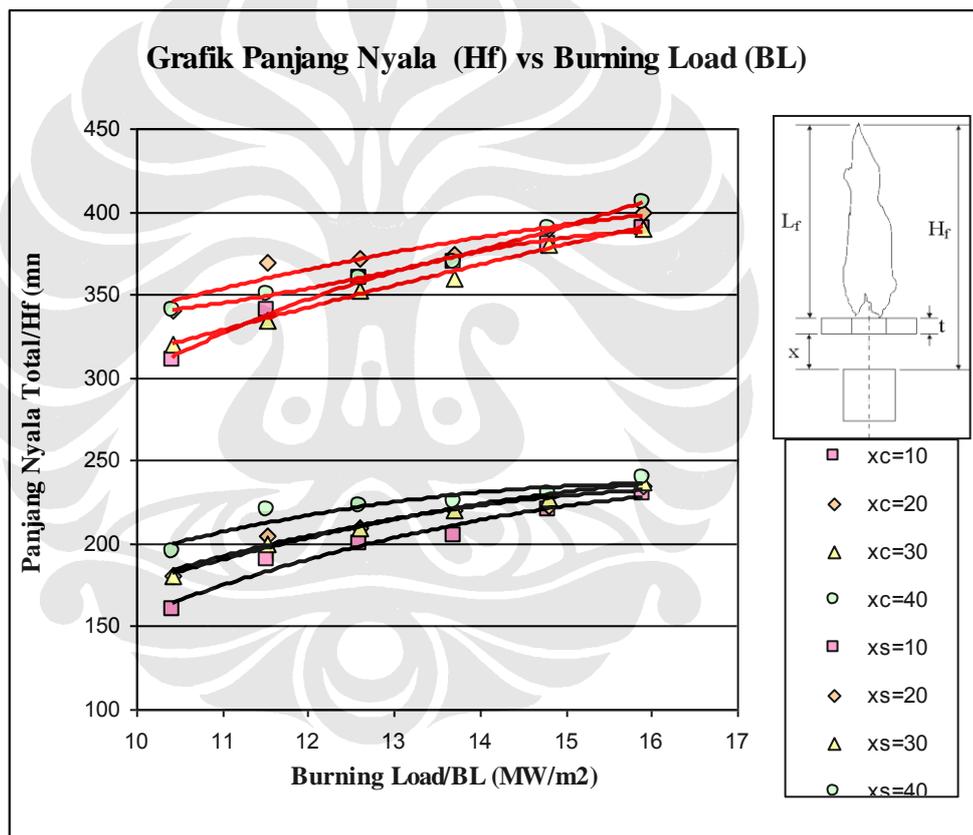
Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang menjelaskan hasil dari pengukuran panjang nyala api lift-up, maka dapat diketahui bahwa panjang nyala api yang dihasilkan oleh ring berbahan keramik jauh lebih besar dibandingkan dengan panjang nyala api pada ring berbahan stainless steel. Panjang nyala api dipengaruhi oleh AFR, yaitu semakin kecil nilai AFR-nya maka semakin tinggi nyala api yang dihasilkan. Begitu pula sebaliknya untuk nilai AFR yang semakin besar maka panjang nyala api yang dihasilkan cenderung pendek.

Apabila ditinjau dari segi material ring, panjang nyala api yang dihasilkan dari ring berbahan keramik lebih panjang dibandingkan dengan panjang nyala api yang dihasilkan oleh ring stainless steel. Terlihat bahwa panjang nyala yang dihasilkan dari ring berbanding terbalik dengan laju AFR. Dari prediksi awal bahwa semakin tinggi laju burning load akan meningkatkan temperatur pada ring flame holder. Trend yang dihasilkan memiliki gradient yang meningkat namun tingkat gradient yang diberikan tidaklah besar.

Jika ditinjau dari temperatur ring tiap material, temperatur yang terukur pada ring keramik lebih kecil dibandingkan dengan temperatur ring stainless steel. Pada grafik juga memperlihatkan bahwa kurva temperatur ring untuk material keramik berada di bawah kurva temperatur ring stainless steel. Berdasarkan hubungan antara panjang nyala api dengan temperatur ring, panjang nyala api berbanding terbalik dengan temperatur ring. Hal ini dipengaruhi oleh besarnya nilai burning load atau kecepatan laju pembakaran. Laju pembakaran yang tinggi akan menyebabkan nyala api yang dihasilkan semakin pendek.

Panjang nyala api yang berbanding terbalik dengan temperatur ring, membuktikan bahwa kecepatan laju pembakaran berbanding terbalik dengan

panjang nyala api. Dengan semakin meningkatnya laju pembakaran, maka temperatur akan semakin meningkat. Namun pada stainless steel, temperatur yang terukur cenderung konstan. Hal ini dikarenakan kapasitas panas dari material ring stainless steel besar dari panas yang diberikan pada saat lift-up. Pada kondisi ini, kapasitas panas material yang berbeda antara keramik dengan stainless steel sangat berpengaruh. 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.

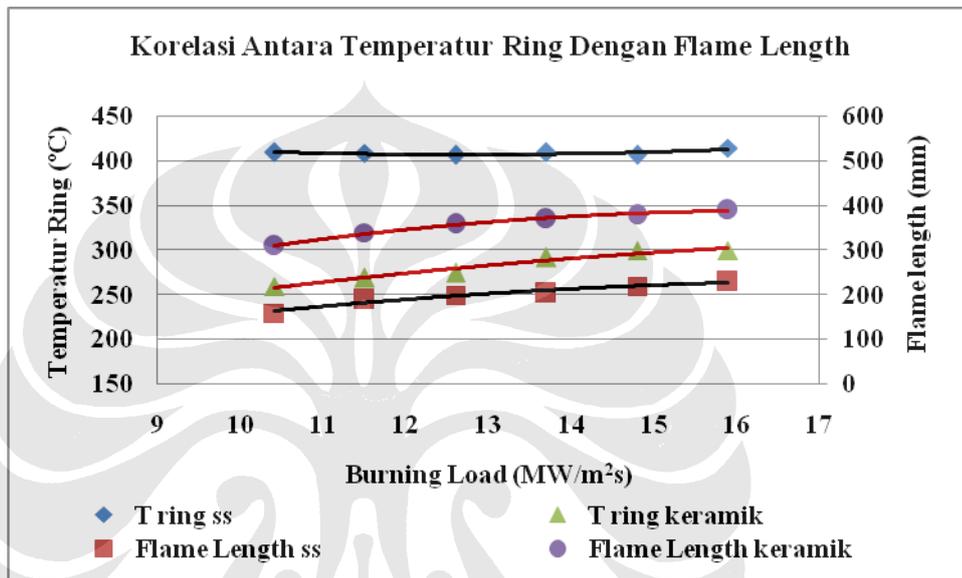


Gambar 4.10 Grafik perbandingan panjang nyala total *lift-up* vs *burning load*

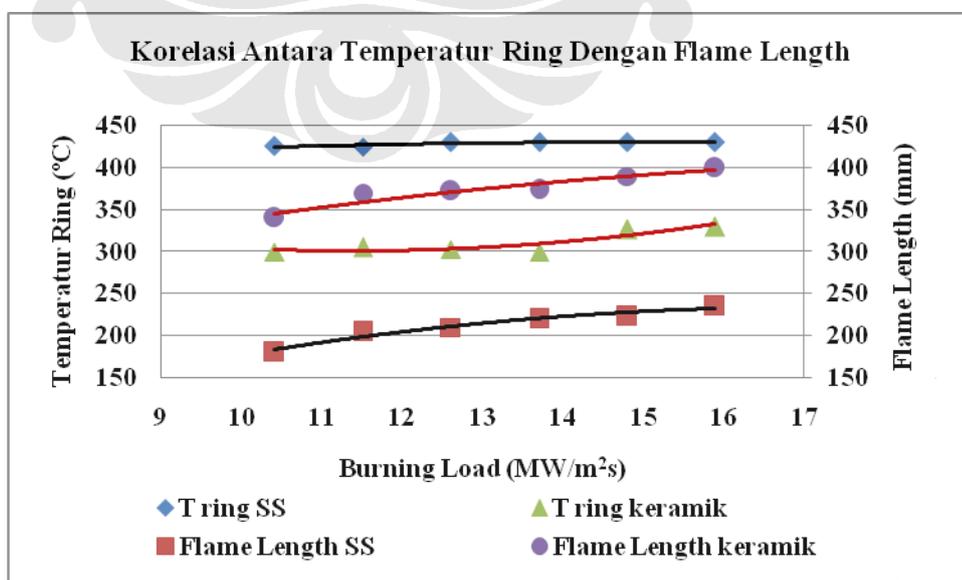
Grafik pada gambar 4.10 di atas menunjukkan panjang nyala api pada ring keramik oleh kurva dengan garis warna merah, lebih tinggi dibandingkan dengan panjang nyala api pada ring stainless steel. Dikarenakan nilai AFR stainless steel yang lebih besar dari keramik menyebabkan panjang nyala keramik jauh lebih

besar dari stainless steel, namun kebalikannya yaitu nilai kapasitas termal stainless steel yang lebih besar dari keramik menyebabkan temperatur ring stainless steel lebih besar dibandingkan dengan temperatur ring keramik.

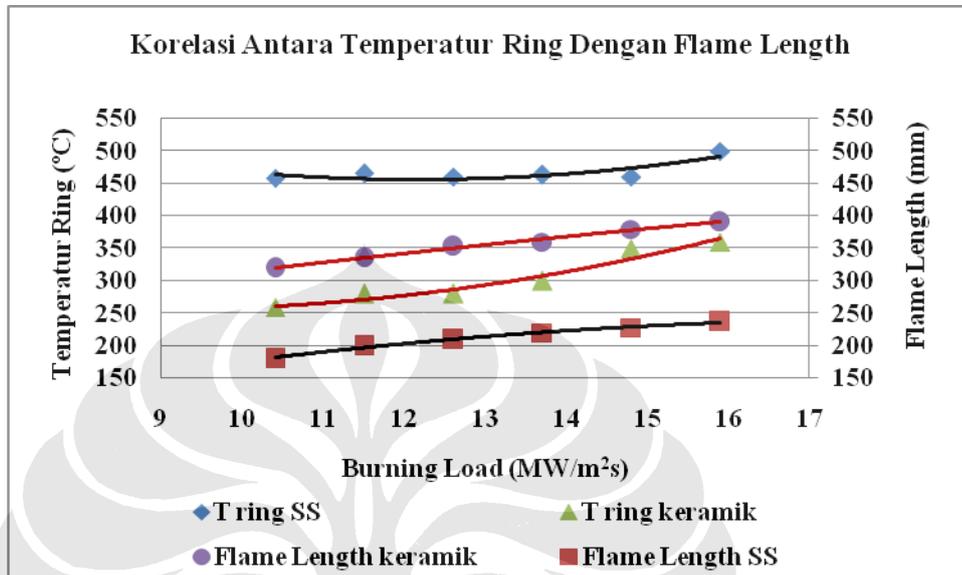
Korelasi antara temperatur ring dan panjang nyala api *lift-up* pada kedua material ring yang memiliki diameter dalam 10 mm dapat dilihat sebagai berikut.



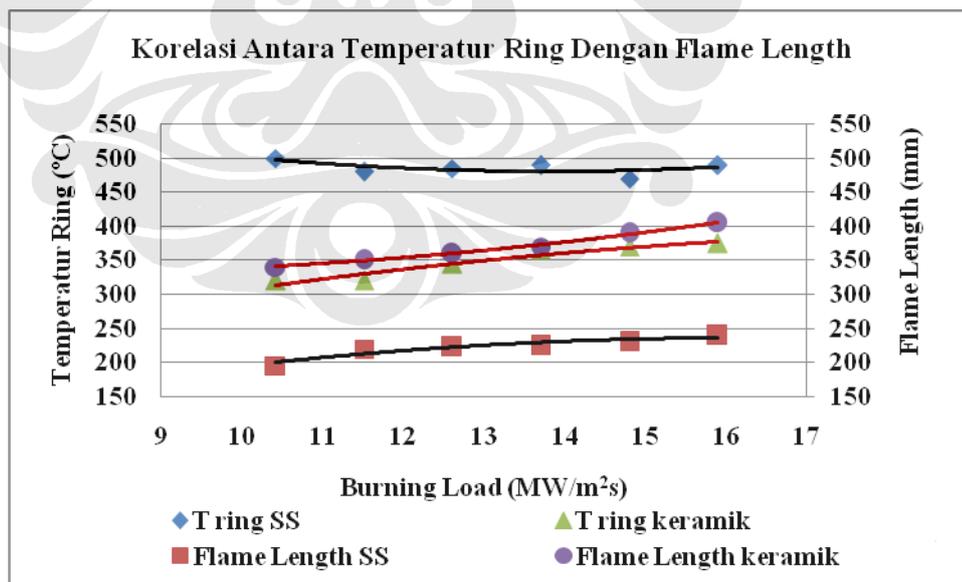
Gambar 4.11 Grafik korelasi temperatur ring dan flame length pada jarak 10 mm



Gambar 4.12 Grafik korelasi temperatur ring dan flame length pada jarak 20 mm



Gambar 4.13 Grafik korelasi temperatur ring dan flame length pada jarak 30 mm



Gambar 4.14 Grafik korelasi temperatur ring dan flame length pada jarak 40 mm

Empat gambar grafik dari gambar 4.11 hingga gambar 4.14 menunjukkan korelasi antara temperatur ring dengan panjang nyala api, baik untuk ring material

stainless steel maupun untuk ring material keramik. Kurva *trendline* yang berwarna merah mewakili kurva *trendline* untuk temperatur ring keramik dan panjang nyala api pada ring keramik. Sedangkan yang berwarna hitam untuk ring stainless steel.

Berdasarkan dari empat gambar grafik, mulai dari grafik 4.11 hingga 4.14, dapat diambil kesimpulan bahwa kurva *trendline* untuk tiap kurva temperatur ring maupun panjang nyala api *lift-up* cenderung bergerak naik, hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi nilai burning load, maka temperatur ring akan cenderung naik sedangkan panjang nyala api akan cenderung untuk menurun. Hal ini menjelaskan bahwa panjang nyala api berbanding terbalik dengan temperatur ring, serta menjelaskan bahwa kecepatan laju pembakaran berbanding terbalik dengan panjang nyala api. Semakin tinggi laju pembakaran maka semakin rendah nilai panjang nyala api, dan dengan semakin meningkatnya laju pembakaran maka temperatur yang terukur pada ring juga akan semakin meningkat.

Empat gambar grafik tersebut juga menunjukkan bahwa temperatur ring stainless steel lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur ring keramik, serta menunjukkan juga bahwa panjang nyala api pada ring stainless steel lebih pendek dibandingkan dengan panjang nyala api pada ring keramik.