

BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa data hasil penelitian

Pada analisa data ini, karakteristik api pada model *burner co-axial Inverse Diffusion Flame* dapat diketahui dengan cara mengukur dan mencatat ketinggian api dan distribusi temperatur api. Sebelum pada tahap analisa data, ada beberapa tahap yang harus dilalui yaitu tahap uji coba, pengaturan tekanan serta aliran udara-bahan bakar, dan tahap pengambilan data. Hasil analisa data ini akan dibandingkan berdasarkan variasi dari variabel yang meliputi perubahan *chamfer* luar jet udara dan perubahan kapasitas aliran udara.

Tabel 4. 1 Variasi penelitian

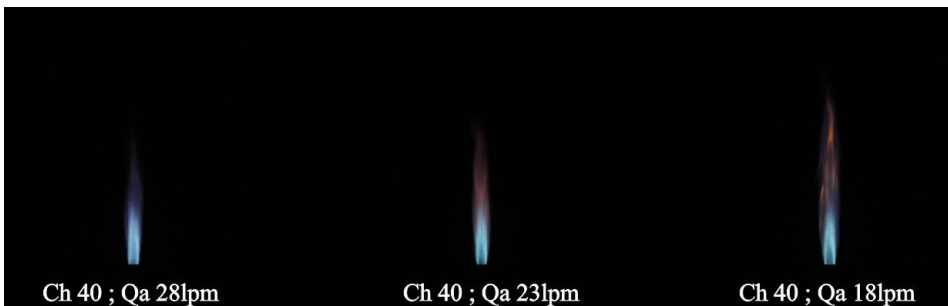
| <i>Chamfer</i> | P_{fuel} Konstan | Q_{fuel} Konstan | P_{air} Konstan | Q_{air} |
|----------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------|
| | Bar | lpm | bar | lpm |
| 0° | 0,75 | 1,0 | 5,5 | 18 |
| | | | | 23 |
| | | | | 28 |
| 40° | | | | 18 |
| | | | | 23 |
| | | | | 28 |
| 60° | | | | 18 |
| | | | | 23 |
| | | | | 28 |

4.2 Bentuk api dan nyala api stabil

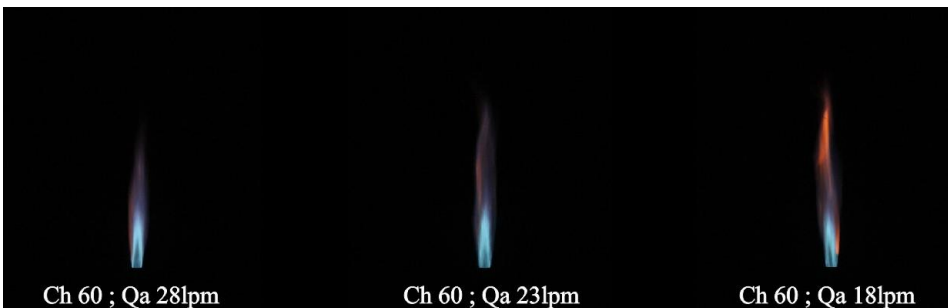
Dari hasil pengambilan foto menggunakan kamera DSLR dengan pengaturan sebagai berikut : ISO 3200, kecepatan rana 1/100, diafragma f.5.6 dan dibantu menggunakan *tripod stand* serta pengambilan gambar dilakukan pada latar belakang yang gelap, hal ini bertujuan untuk mendapatkan hasil yang jelas dan sesuai dengan aslinya, didapatkan hasil bentuk api dan nyala api stabil sebagai berikut :



Gambar 4. 1 Foto api Inverse Diffusion Flame dengan tekanan bahan bakar 0,75 bar, chamfer 0°, tekanan udara 5,5 bar



Gambar 4. 2 Foto api Inverse Diffusion Flame dengan tekanan bahan bakar 0,75 bar, chamfer 40°, tekanan udara 5,5 bar



Gambar 4. 3 Foto api Inverse Diffusion Flame dengan tekanan bahan bakar 0,75 bar, chamfer 40°, tekanan udara 5,5 bar

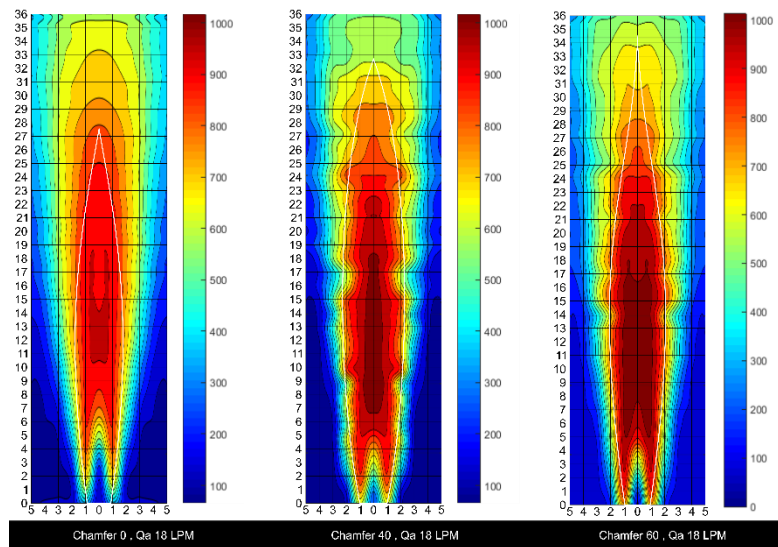
Dari gambar diatas pada tiap variabel, chamfer luar jet udara, tekanan bahan bakar (Q_{fuel}) kapasitas aliran bahan bakar (P_{fuel}), serta tekanan udara (P_{air}) yang konstan dengan perubahan kapasitas aliran udara (Q_{air}), didapatkan beberapa analisa :

- Jika kapsitas aliran udaranya nilainya diturunkan maka terjadi perubahan ketinggian pada bentuk api, dan api merah semakin tampak.
-

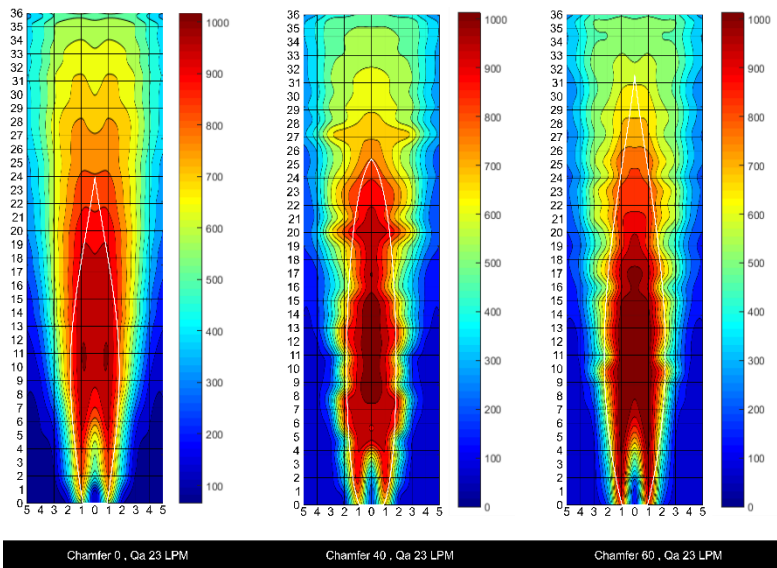
- Dengan melihat gambar nyala api stabil dari atas, menunjukkan bentuk api terbaik terjadi pada kapasitas aliran udara (Q_{air}) 23lpm.

4.3 Distribusi temperatur dan ketinggian api

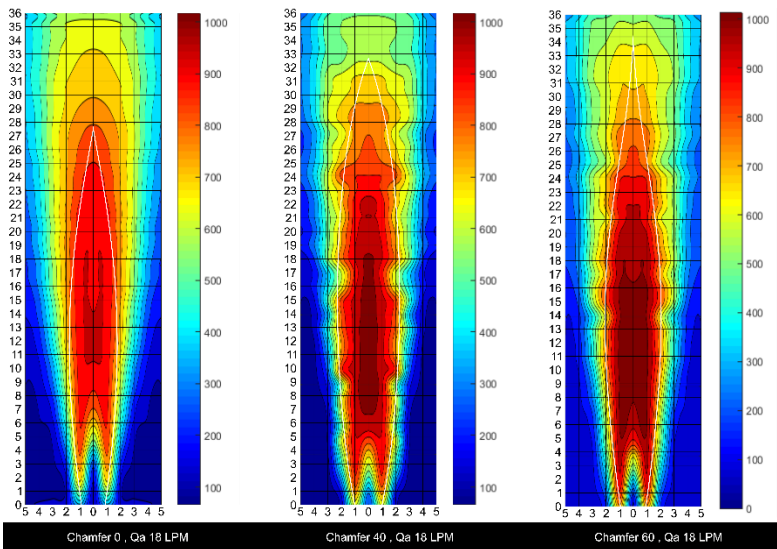
Pada penelitian ini mengasumsi, bahwa api memiliki bentuk badan yang simetris, maka pengukuran dilakukan pada setengah sumbu simetri *burner*. Kemudian dari foto api, mensketsa pada sisi tepi badan api menggunakan *outline* dengan skala sesuai aktualnya, setelah itu latar belakang menggunakan *gridlines* yang memiliki ukuran sesuai dengan jarak termokopel dan ketinggian pada saat pengambilan data. Data hasil pengukuran dapat dilihat secara grafik distribusi dan tinggi api sebagai berikut :



Gambar 4. 4 Distribusi temperatur dan ketinggian api pada Qa 18 lpm



Gambar 4. 5 Distribusi temperatur dan ketinggian api pada Qa 23 lpm



Gambar 4. 6 Distribusi temperatur dan ketinggian api pada Qa 28 lpm

Tabel 4. 2 Data hasil pengukuran ketinggian api

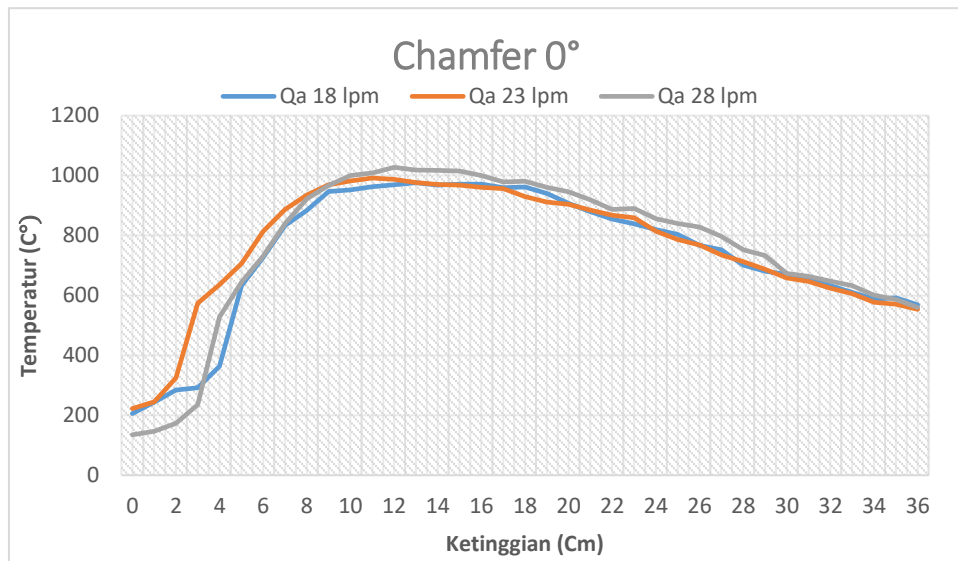
| Chamfer | P_{fuel} konstan | Q_{fuel} konstan | P_{air} konstan | Q_{air} | Ketinggian api |
|---------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------|----------------|
| | bar | Lpm | bar | lpm | Cm |
| 0 | 0,75 | 1,0 | 5,5 | 18 | 27,5 |
| | | | | 23 | 24 |
| | | | | 28 | 21,5 |
| 40° | | | | 18 | 32,5 |
| | | | | 23 | 25,5 |
| | | | | 28 | 22,4 |
| 60° | | | | 18 | 34 |
| | | | | 23 | 31,5 |
| | | | | 28 | 24,6 |

Dari tabel hasil pengukuran diatas, didapatkan analisa sebagai berikut:

- Dari hasil analisa gambar distribusi temperature pada chamfer 60° dengan kapasitas aliran udara 28 lpm memiliki daerah dengan temperature >1000°C yang lebih luas, dimana api dengan distribusi temperature yang lebih baik karena dapat mencapai suhu >1000°C.
- Pada api dengan chamfer 60° dan kapasitas aliran udara 18 lpm, memiliki ujung api tertinggi, yaitu 34cm.
- Chamfer 0° memiliki daerah temperatur rendah yang lebih tinggi yang berada pada *centerline*.

4.4 Grafik temperatur pada centerline

Untuk mempermudah dalam memahami perbandingan api, dari data tersebut diubah kebentuk gambar grafik yang berisi data temperatur api pada *centreline*, dari ketinggian 0 cm hingga ketinggian 36 cm.

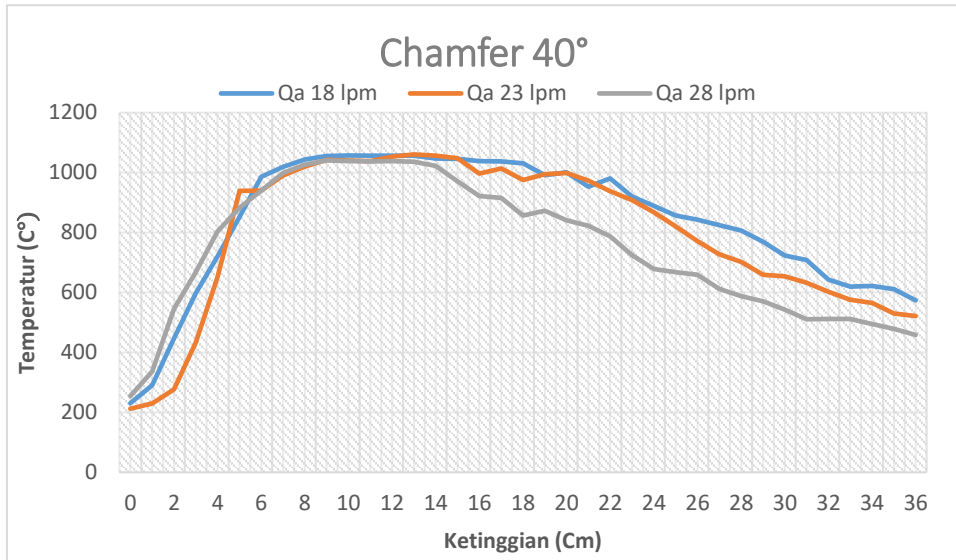


Gambar 4. 7 Grafik temperatur centerline pada chamfer 0°

Tabel 4. 3 Data temperatur *centerline* pada *chamfer* 0°

| Ketinggian (Cm) | 18 lpm | 23 lpm | 28 lpm |
|-----------------|--------|--------|--------|
| 0 | 206 | 223 | 135 |
| 1 | 244 | 245 | 147 |
| 2 | 285 | 325 | 174 |
| 3 | 292 | 574 | 236 |
| 4 | 363 | 636 | 528 |
| 5 | 632 | 707 | 645 |
| 6 | 727 | 815 | 732 |
| 7 | 833 | 887 | 840 |
| 8 | 884 | 935 | 922 |
| 9 | 947 | 969 | 967 |

| | | | |
|----|-----|-----|------|
| 10 | 952 | 982 | 1000 |
| 11 | 963 | 992 | 1009 |
| 12 | 969 | 987 | 1027 |
| 13 | 976 | 976 | 1019 |
| 14 | 968 | 970 | 1018 |
| 15 | 972 | 968 | 1015 |
| 16 | 971 | 960 | 1000 |
| 17 | 959 | 956 | 979 |
| 18 | 962 | 930 | 980 |
| 19 | 940 | 912 | 960 |
| 20 | 908 | 904 | 946 |
| 21 | 880 | 884 | 919 |
| 22 | 854 | 868 | 887 |
| 23 | 839 | 859 | 890 |
| 24 | 820 | 815 | 856 |
| 25 | 803 | 786 | 840 |
| 26 | 767 | 768 | 828 |
| 27 | 753 | 735 | 797 |
| 28 | 701 | 713 | 752 |
| 29 | 681 | 687 | 733 |
| 30 | 670 | 658 | 674 |
| 31 | 653 | 647 | 664 |
| 32 | 633 | 625 | 648 |
| 33 | 610 | 606 | 632 |
| 34 | 587 | 577 | 601 |
| 35 | 592 | 571 | 587 |
| 36 | 569 | 554 | 560 |

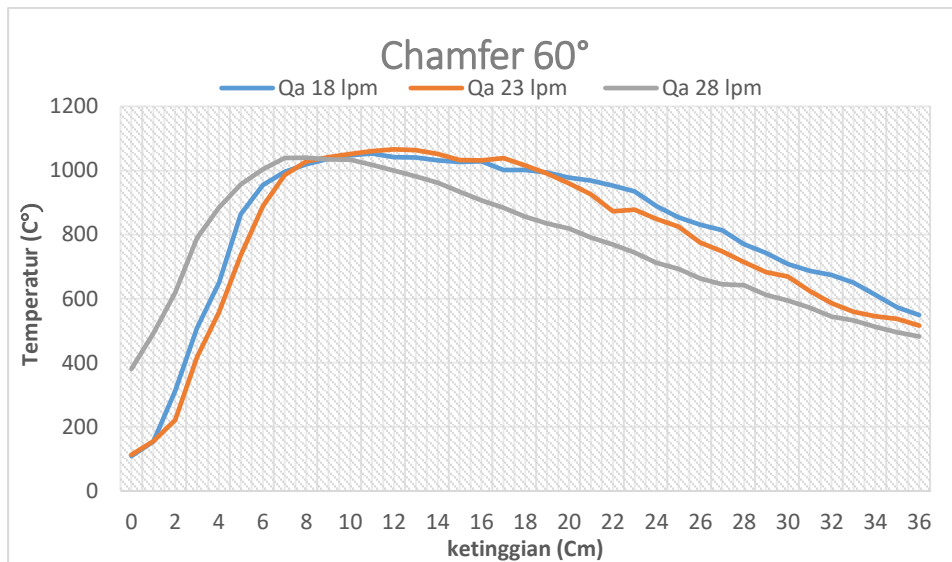


Gambar 4. 8 Grafik temperatur cernterline pada chamfer 40°

Tabel 4. 4 Data temperatur *centerline* pada *chamfer* 40°

| Ketinggian (Cm) | 18 lpm | 23 lpm | 28 lpm |
|-----------------|--------|--------|--------|
| 0 | 231 | 212 | 254 |
| 1 | 291 | 230 | 337 |
| 2 | 446 | 277 | 545 |
| 3 | 598 | 433 | 668 |
| 4 | 720 | 651 | 803 |
| 5 | 853 | 939 | 882 |
| 6 | 986 | 940 | 941 |
| 7 | 1019 | 991 | 999 |
| 8 | 1044 | 1020 | 1027 |
| 9 | 1055 | 1043 | 1041 |
| 10 | 1057 | 1041 | 1039 |
| 11 | 1056 | 1038 | 1037 |
| 12 | 1056 | 1053 | 1039 |
| 13 | 1056 | 1061 | 1036 |

| | | | |
|----|------|------|------|
| 14 | 1047 | 1056 | 1023 |
| 15 | 1046 | 1048 | 971 |
| 16 | 1039 | 997 | 922 |
| 17 | 1037 | 1014 | 916 |
| 18 | 1031 | 975 | 856 |
| 19 | 991 | 994 | 873 |
| 20 | 1001 | 999 | 841 |
| 21 | 953 | 973 | 823 |
| 22 | 980 | 938 | 787 |
| 23 | 919 | 908 | 724 |
| 24 | 889 | 867 | 679 |
| 25 | 857 | 821 | 668 |
| 26 | 843 | 771 | 659 |
| 27 | 825 | 728 | 613 |
| 28 | 806 | 702 | 588 |
| 29 | 769 | 659 | 570 |
| 30 | 724 | 654 | 543 |
| 31 | 708 | 632 | 511 |
| 32 | 643 | 602 | 512 |
| 33 | 620 | 576 | 512 |
| 34 | 622 | 565 | 495 |
| 35 | 611 | 530 | 478 |
| 36 | 574 | 522 | 458 |



Gambar 4. 9 Temperatur centerline pada chamfer 60°

Tabel 4. 5 Data temperatur *centerline* pada *chamfer* 60

| Ketinggian (Cm) | 18 lpm | 23 lpm | 28 lpm |
|-----------------|--------|--------|--------|
| 0 | 109 | 113 | 381 |
| 1 | 155 | 156 | 492 |
| 2 | 312 | 221 | 619 |
| 3 | 508 | 417 | 789 |
| 4 | 650 | 558 | 885 |
| 5 | 864 | 736 | 957 |
| 6 | 955 | 889 | 1004 |
| 7 | 996 | 986 | 1039 |
| 8 | 1020 | 1029 | 1040 |
| 9 | 1037 | 1042 | 1035 |
| 10 | 1048 | 1052 | 1034 |
| 11 | 1053 | 1061 | 1018 |
| 12 | 1042 | 1066 | 1000 |
| 13 | 1041 | 1064 | 982 |
| 14 | 1032 | 1052 | 962 |
| 15 | 1027 | 1033 | 934 |
| 16 | 1029 | 1032 | 907 |

| | | | |
|----|------|------|-----|
| 17 | 1002 | 1039 | 884 |
| 18 | 1002 | 1016 | 856 |
| 19 | 994 | 991 | 835 |
| 20 | 978 | 960 | 819 |
| 21 | 969 | 926 | 791 |
| 22 | 953 | 873 | 769 |
| 23 | 935 | 878 | 744 |
| 24 | 889 | 849 | 712 |
| 25 | 854 | 825 | 693 |
| 26 | 831 | 775 | 663 |
| 27 | 814 | 748 | 645 |
| 28 | 770 | 714 | 642 |
| 29 | 743 | 683 | 612 |
| 30 | 708 | 669 | 594 |
| 31 | 687 | 624 | 572 |
| 32 | 674 | 586 | 544 |
| 33 | 650 | 559 | 532 |
| 34 | 612 | 545 | 512 |
| 35 | 573 | 537 | 495 |
| 36 | 549 | 516 | 482 |

Dari hasil diatas, dapat ditarik beberapa kesimpulan dari analisa grafik :

- Pada *chamfer* 60° pada kapasitas aliran udara 28 lpm memiliki temperatur awal yang lebih tinggi.
- Pada *chamfer* 40° pada kapasitas aliran udara 28 lpm terjadi fluktuatif mulai ketinggian 14cm

4.5 Perpindahan panas secara radiasi

Hasil dari proses pembakaran akan mengeluarkan emisi gas panas, pada penelitian ini emisi gas panas terbentuk dari nyala api, hal ini akan mengakibatkan suatu perpindahan panas secara radiasi (q_r). Penelitian ini mengasumsi radiasi terjadi pada setiap luasan selimut api.

Sebagai contoh perhitungan q_r pada titik 0-1 :

- Garis pelukis
$$S = \sqrt{(r_0 - r_1)^2 + L^2}$$

$$S = \sqrt{(0,009 - 0,01)^2 + 0,01^2}$$

$$S = 0,01005 \text{ m}$$

Setelah mendapatkan garis pelukis, langkah selanjutnya ialah mencari luasan selimut kerucut terpancung pada ketinggian 0-1 :

- Luas selimut api

$$A_s = 2\pi r s$$

$$A_s = 2\pi \left(\frac{r_0 - r_1}{2} \right) s$$

$$A_s = 2\pi \left(\frac{0,009 + 0,01}{2} \right) s$$

$$A_s = 2 \times 3,14 \times 0,0095 \times 0,01005 = 0,0006 \text{ m}^2$$

Selanjutnya, mencari laju perpindahan panas secara radiasi yang pada selimut api pada *burner Co-axial Chamfer* 60° dengan $P_{fuel} = 0,75 \text{ bar}$; $Q_{fuel} = 1,0 \text{ lpm}$; $P_{air} = 5,5 \text{ bar}$; $Q_{air} = 18 \text{ lpm}$, sebagai contoh perhitungan pada ketinggian 0-1Cm dengan $L = 1 \text{ cm}$:

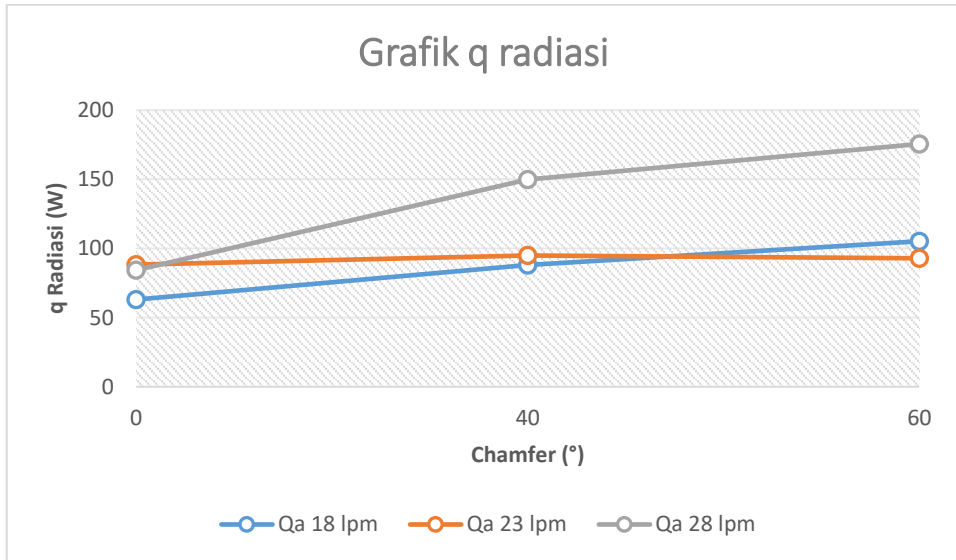
$$q_{r\ 0-1} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot (T_s^4 - T_\infty^4)$$

Dimana :

- $q_{r\ 0-1}$ = Laju perpindahan panas (W)
- ε = Emisivitas gas panas (*Blackbody*)
- σ = Konstanta boltzman ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$)
- A_s = Luas selimut api (m^2)
- T_s = Temperatur permukaan selimut api (K)
- T_∞ = Temperatur sekeliling ruangan (K)

Sehingga,

$$q_{r\ 0-1} = 1 \times 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \times 0,0006 \text{ m}^2 \cdot (1076^4 - 311^4) = 45,3 \text{ W}$$



Gambar 4. 10 Laju perpindahan panas radiasi

Tabel 4. 6 Laju perpindahan panas radiasi *chamfer* 0°

| <i>Chamfer</i> 0° | | | |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| ketinggian (Cm) | Qa = 18 lpm | Qa = 23 lpm | Qa = 28 lpm |
| 0-1 | 10,4894 | 19,1178 | 14,5457 |
| 1-2 | 10,0583 | 34,0445 | 30,6285 |
| 2-3 | 23,7933 | 39,8743 | 29,8588 |
| 3-4 | 38,2113 | 40,0701 | 32,5858 |
| 4-5 | 41,7026 | 36,0713 | 34,1558 |
| 5-6 | 36,9048 | 49,4399 | 35,1506 |
| 6-7 | 30,8446 | 56,2016 | 42,916 |
| 7-8 | 35,2304 | 40,7901 | 70,2657 |
| 8-9 | 28,4446 | 32,0806 | 84,3351 |
| 9-10 | 41,4723 | 45,0984 | 80,4328 |
| 10-11 | 63,0463 | 66,732 | 75,8333 |
| 11-12 | 53,6445 | 70,3604 | 68,6327 |
| 12-13 | 60,5056 | 88,2972 | 58,5842 |
| 13-14 | 59,6996 | 74,2736 | 48,0653 |

| | | | |
|-------|---------|---------|---------|
| 14-15 | 56,9412 | 57,1909 | 52,9117 |
| 15-16 | 43,998 | 41,8506 | 65,0485 |
| 16-17 | 28,9841 | 31,772 | 59,3959 |
| 17-18 | 37,5841 | 32,1546 | 46,3628 |
| 18-19 | 45,6739 | 35,4525 | 34,4375 |
| 19-20 | 40,8404 | 44,8573 | 22,2449 |
| 20-21 | 33,5527 | 39,2031 | 12,9097 |
| 21-22 | 30,6091 | 19,7181 | 0 |
| 22-23 | 32,5723 | 8,61597 | 0 |
| 23-24 | 33,1239 | 0 | 0 |
| 24-25 | 27,7727 | 0 | 0 |
| 25-26 | 15,0991 | 0 | 0 |
| 26-27 | 6,99339 | 0 | 0 |
| 27-28 | 0 | 0 | 0 |
| 28-29 | 0 | 0 | 0 |
| 29-30 | 0 | 0 | 0 |
| 30-31 | 0 | 0 | 0 |
| 31-32 | 0 | 0 | 0 |
| 32-33 | 0 | 0 | 0 |
| 33-34 | 0 | 0 | 0 |
| 34-35 | 0 | 0 | 0 |
| 35-36 | 0 | 0 | 0 |

Tabel 4. 7 Laju perpindahan panas *chamfer* 40°

| <i>Chamfer</i> 40° | | | |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|
| ketinggian (Cm) | Qa = 18 lpm | Qa = 23 lpm | Qa = 28 lpm |
| 0-1 | 14,0516 | 21,0358 | 29,7386 |
| 1-2 | 14,4701 | 37,0792 | 57,354 |
| 2-3 | 32,8829 | 43,4003 | 56,0639 |
| 3-4 | 51,4826 | 43,6918 | 61,0381 |
| 4-5 | 55,3687 | 39,4809 | 66,2618 |

| | | | |
|-------|---------|---------|---------|
| 5-6 | 50,5293 | 53,7651 | 69,9954 |
| 6-7 | 44,9242 | 60,9972 | 83,1693 |
| 7-8 | 49,4704 | 44,6038 | 123,497 |
| 8-9 | 40,2886 | 35,2802 | 149,873 |
| 9-10 | 57,31 | 49,2033 | 139,767 |
| 10-11 | 83,8747 | 69,9526 | 130,104 |
| 11-12 | 69,0481 | 72,8951 | 123,243 |
| 12-13 | 76,0489 | 94,9296 | 115,168 |
| 13-14 | 78,8016 | 83,3998 | 94,5327 |
| 14-15 | 80,8042 | 70,3398 | 96,4933 |
| 15-16 | 66,5034 | 53,6054 | 110,495 |
| 16-17 | 46,2288 | 44,9195 | 99,8617 |
| 17-18 | 61,8725 | 52,3407 | 78,1287 |
| 18-19 | 80,3015 | 58,5498 | 59,0683 |
| 19-20 | 76,2184 | 76,5801 | 38,9068 |
| 20-21 | 68,2714 | 77,8733 | 23,0067 |
| 21-22 | 68,5102 | 65,035 | 10,0155 |
| 22-23 | 75,3258 | 58,5657 | 0 |
| 23-24 | 88,1217 | 43,8032 | 0 |
| 24-25 | 86,0424 | 23,1769 | 0 |
| 25-26 | 65,3584 | 0 | 0 |
| 26-27 | 54,1544 | 0 | 0 |
| 27-28 | 53,0817 | 0 | 0 |
| 28-29 | 50,1931 | 0 | 0 |
| 29-30 | 34,4496 | 0 | 0 |
| 30-31 | 22,5204 | 0 | 0 |
| 31-32 | 11,4969 | 0 | 0 |
| 32-33 | 0 | 0 | 0 |
| 33-34 | 0 | 0 | 0 |
| 34-35 | 0 | 0 | 0 |
| 35-36 | 0 | 0 | 0 |

Tabel 4. 8 Laju perpindahan panas radiasi *chamfer* 60°

| <i>Chamfer</i> 60° | | | |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|
| ketinggian (Cm) | Qa = 18 lpm | Qa = 23 lpm | Qa = 28 lpm |
| 0-1 | 45,2943 | 53,1839 | 25,6928 |
| 1-2 | 56,3717 | 56,4305 | 29,2123 |
| 2-3 | 57,9434 | 55,267 | 33,8532 |
| 3-4 | 59,2297 | 45,5706 | 49,0939 |
| 4-5 | 60,5158 | 39,5852 | 72,1796 |
| 5-6 | 61,3755 | 37,2694 | 98,1305 |
| 6-7 | 60,8432 | 39,9415 | 130,104 |
| 7-8 | 65,0325 | 66,3369 | 158,651 |
| 8-9 | 71,3379 | 85,4976 | 171,182 |
| 9-10 | 74,3774 | 83,4966 | 175,539 |
| 10-11 | 84,3486 | 92,7835 | 171,486 |
| 11-12 | 86,9792 | 82,494 | 165,088 |
| 12-13 | 84,6741 | 74,9208 | 157,046 |
| 13-14 | 70,9236 | 78,8126 | 146,161 |
| 14-15 | 78,4926 | 76,3577 | 126,312 |
| 15-16 | 105,214 | 59,4071 | 110,916 |
| 16-17 | 90,3529 | 60,1988 | 93,3234 |
| 17-18 | 88,3667 | 77,2098 | 67,6107 |
| 18-19 | 92,6903 | 59,5699 | 51,8206 |
| 19-20 | 83,2452 | 53,2547 | 38,7567 |
| 20-21 | 73,2959 | 63,0775 | 27,7214 |
| 21-22 | 71,4899 | 66,0822 | 18,5223 |
| 22-23 | 74,5453 | 63,7228 | 11,3607 |
| 23-24 | 68,4038 | 55,0353 | 0 |
| 24-25 | 53,4186 | 47,3935 | 0 |
| 25-26 | 41,0469 | 38,2274 | 0 |
| 26-27 | 37,1368 | 28,4372 | 0 |
| 27-28 | 26,2058 | 20,7104 | 0 |
| 28-29 | 17,1301 | 13,9502 | 0 |

| | | | |
|-------|---------|---------|---|
| 29-30 | 13,6773 | 9,86589 | 0 |
| 30-31 | 10,9867 | 5,05412 | 0 |
| 31-32 | 7,40019 | 0 | 0 |
| 32-33 | 4,07653 | 0 | 0 |
| 33-34 | 0 | 0 | 0 |
| 34-35 | 0 | 0 | 0 |
| 35-36 | 0 | 0 | 0 |

4.6 Rasio ekuivalen (*Equivalent ratio*, Φ)

Rasio ekuivalen merupakan perbandingan antara nilai rasio udara - bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) stoikiometrik dengan nilai rasio udara – bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) aktual, dan dapat juga sebagai pembandingan antara rasio bahan bakar – udara (*Fuel Air Ratio*) stoikiometrik dengan rasio bahan bakar – udara (*Fuel Air Ratio*) aktual.

$$\Phi = \frac{AFR_{stoi}}{AFR_{act}}$$

- Jika $\Phi > 1$ menunjukkan kelebihan bahan bakar dari pada campurannya maka dapat disebut sebagai campuran kaya bahan bakar (*fuel rich mixture*)
- Jika $\Phi < 1$ menunjukkan kelebihan campuran dari pada bahan bakar maka dapat disebut sebagai campuran miskin bahan bakar (*fuel-lean mixture*)
- Jika $\Phi = 1$ menunjukkan campuran stoikiometrik (pembakaran sempurna).

Tabel 4. 9 Rekapitulasi keseluruhan hasil perhitungan AFR & Φ

| Chamfer | Q_f konstan (Lpm) | Q_a (Lpm) | AFR actual | AFR stoikiometri | Rasio ekivalen (shie) Φ |
|---------|---------------------|-------------|------------|------------------|------------------------------|
| 0° | 1,0 | 18 | 0,135 | 15.60 | 108,12 |
| | | 23 | 0,1373 | 15.60 | 106,32 |
| | | 28 | 0,1396 | 15.60 | 104,58 |
| 40° | 1,0 | 18 | 0,135 | 15.60 | 108,12 |
| | | 23 | 0,1373 | 15.60 | 106,32 |
| | | 28 | 0,1396 | 15.60 | 104,58 |

| | | | | | |
|-----|-----|----|--------|-------|--------|
| 60° | 1,0 | 18 | 0,135 | 15.60 | 108,12 |
| | | 23 | 0,1373 | 15.60 | 106,32 |
| | | 28 | 0,1396 | 15.60 | 104,58 |