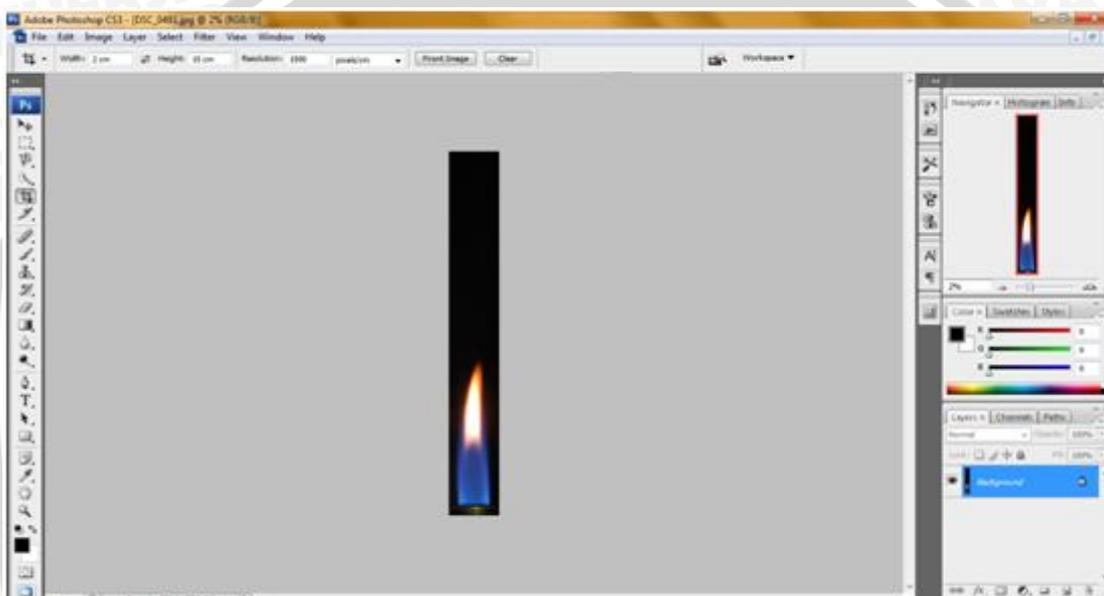


BAB IV

DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data

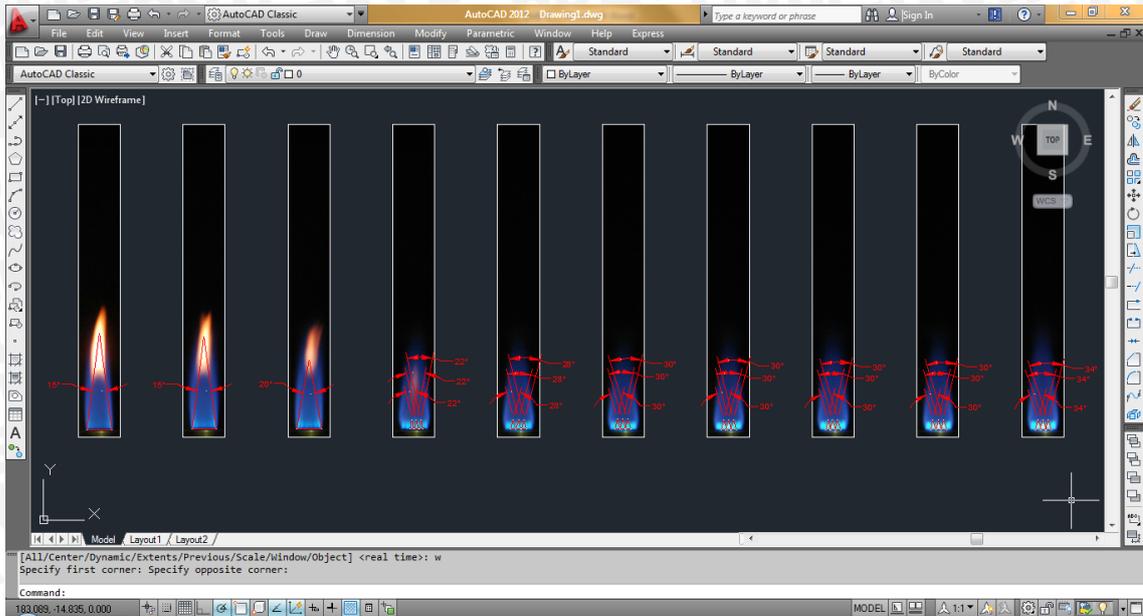
Hasil rekaman nyala api pembakaran campuran uap minyak jarak dan udara yang berupa foto, dipotong (*crop*) dengan menggunakan *Software Adobe Photoshop* sebesar 2cm x 15 cm, dimana 2 cm merupakan ukuran lebar sebenarnya dari diameter *nozzle* sehingga hasil potongan gambar yang didapat nantinya telah sesuai dengan ukuran yang sebenarnya.



Gambar 4.1 Pengolahan Visualisasi Api Pada *Software Adobe Photoshop*

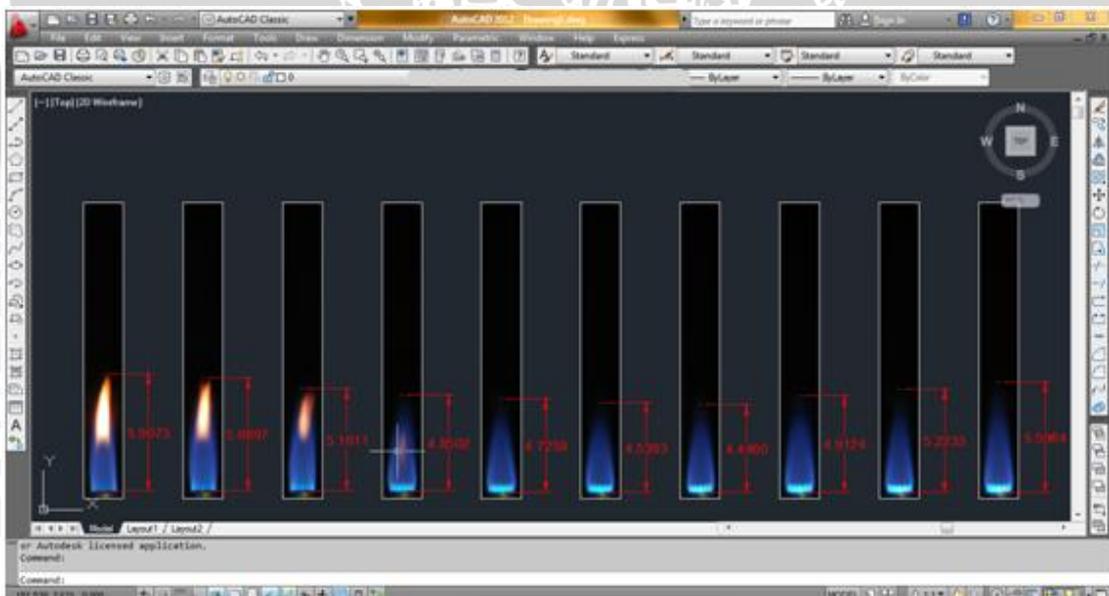
Gambar hasil dari *Adobe Photoshop* tersebut, kemudian disusun berjajar dalam *Software AutoCAD 2012* sehingga akan nampak pergerakan api dimana saat mulai terbentuk hingga padam. Gambar potongan – potongan tersebut ditunjukkan pada gambar 4.8.

Untuk perhitungan kecepatan api, susunan gambar api yang telah diolah dalam *Software Adobe Photoshop* kemudian dimasukkan kedalam *Software Autocad 2012* sehingga dapat dicari sudut kerucut api. Dari sudut kerucut api tersebut dapat dihitung kecepatan apinya.



Gambar 4.2 Pengolahan Sudut Api Pada Software AutoCAD 2012

Begitu pula untuk ketinggian api, susunan gambar rambatan api dimasukkan kedalam software Autocad 2009 kemudian diukur tinggi api tiap AFR tertentu untuk selanjutnya dianalisa.



Gambar 4.3 Pengolahan Tinggi Api Pada Software AutoCAD 2012

4.2 Pembahasan

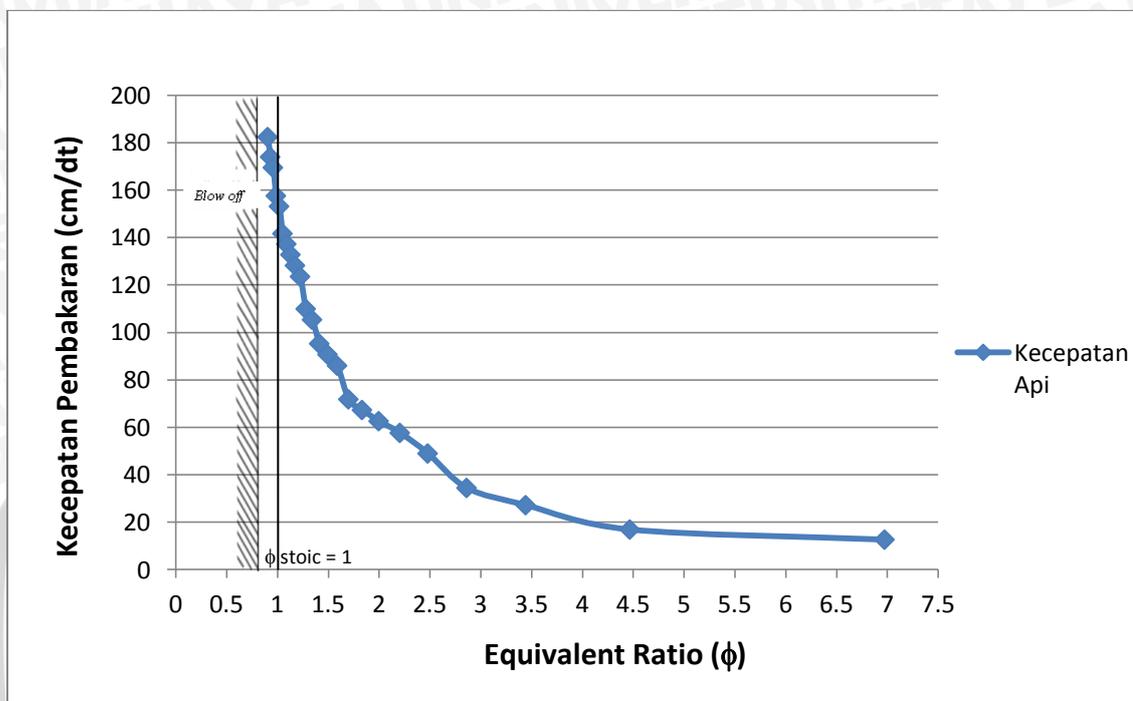
Pembahasan ini dilakukan untuk mendapatkan pola kecenderungan dari data hasil penelitian karakteristik pembakaran campuran uap minyak jarak dan udara dengan berbagai variasi *Air Fuel Ratio (AFR)*.

Tabel 4.1 Data Hasil Penelitian

No	AFR stoikiometri	AFR actual	ϕ	SL (cm)	Tinggi Api (cm)	Temperatur Api (°C)	
						Tepi Burner	Tengah Burner
1	10.012	11.0600	0.905247689	117.7702633	1.4613	662	527
2	10.012	10.7616	0.930342826	78.3544726	3.6688	658	521
3	10.012	10.4586	0.95729673	76.33071465	3.731	652	515
4	10.012	10.1506	0.986341374	74.27378839	3.9486	649	512
5	10.012	9.8374	1.01775062	64.64261844	4.1662	644	507
6	10.012	9.5185	1.051850358	55.39951781	4.3217	651	514
7	10.012	9.1935	1.089031804	53.68300645	4.5704	663	522
8	10.012	8.8620	1.129769161	51.93204135	4.9296	658	537
9	10.012	8.5234	1.174643443	50.14383898	4.9612	645	503
10	10.012	8.1772	1.22437517	48.31520034	5.0368	637	486
11	10.012	7.8227	1.279870075	46.44241658	5.1922	616	452
12	10.012	7.4589	1.342284403	44.52114483	5.2233	598	426
13	10.012	7.0850	1.413120502	42.54624162	5.0366	586	419
14	10.012	6.6998	1.494370713	40.51153462	5.0366	592	387
15	10.012	6.3018	1.588741162	38.40950199	5.5964	609	395
16	10.012	5.8894	1.700013364	36.23080857	5.2233	613	402
17	10.012	5.4601	1.833655862	31.71105292	4.9124	597	386
18	10.012	5.0112	1.997917988	31.59247288	4.446	583	374
19	10.012	4.5387	2.205926152	25.23498028	4.5393	568	350
20	10.012	4.0370	2.480075602	22.93667613	4.7259	559	348
21	10.012	3.4978	2.862395255	20.46661266	4.8502	546	326
22	10.012	2.9075	3.443521046	19.12235934	5.1611	532	302
23	10.012	2.2407	4.468290244	14.70794287	5.6897	520	289
24	10.012	1.4354	6.975143515	11.86246819	5.9073	515	268

4.2.1 Hubungan Variasi *Equivalent Ratio* Terhadap Kecepatan Api

Grafik hubungan variasi *Equivalent Ratio* terhadap kecepatan api dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut:



Gambar 4.4: Grafik Hubungan Variasi *Equivalent Ratio* Terhadap Kecepatan Api

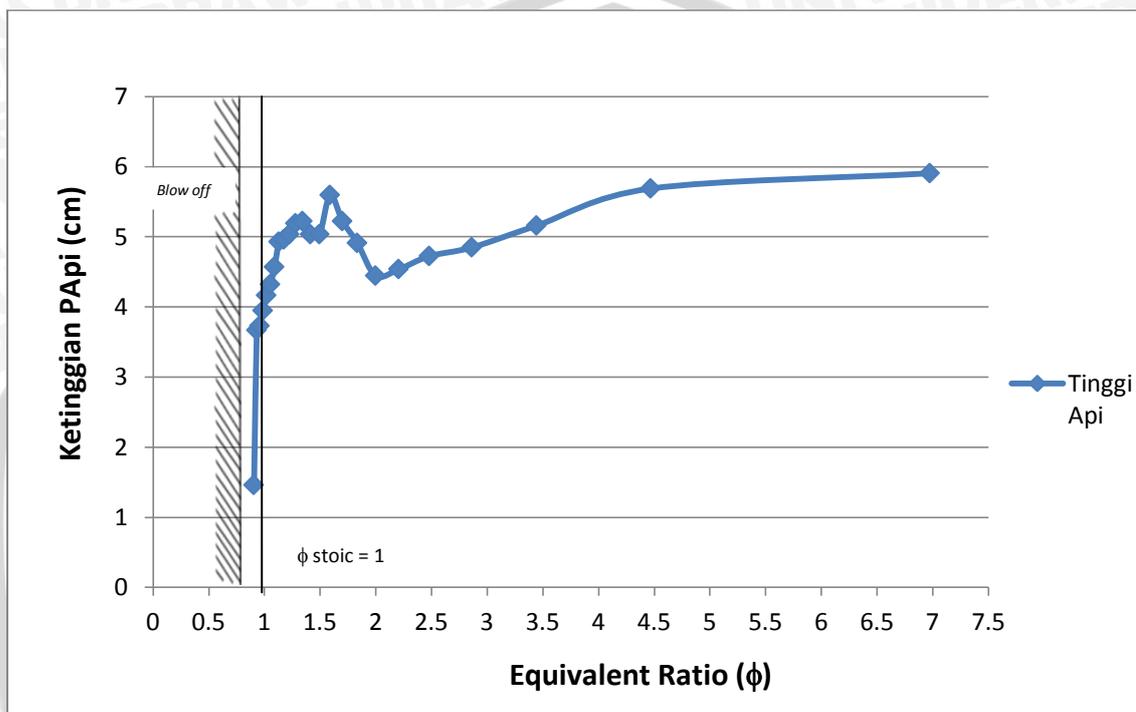
Berdasarkan gambar 4.4 di atas dapat dilihat kecenderungan kecepatan api menurun dengan nilai rasio ekivalen yang semakin tinggi. Dapat dilihat bahwa daerah yang ada di sebelah kiri garis stoikiometri merupakan daerah pembakaran miskin. Dari daerah pembakaran miskin sampai menuju garis stoikiometri, kecepatan pembakaran menurun drastis. Hal ini dikarenakan jumlah fraksi massa udara dan bahan bakar yang ada pada daerah pembakaran miskin sangat tinggi, sehingga pembakaran akan berlangsung secara cepat dengan bantuan jumlah udara yang besar. Pada daerah yang ada disebelah kanan garis stoikiometri, penurunan kecepatan pembakaran hanya landai. Hal ini disebabkan karena fraksi massa antara udara dan bahan bakar jauh lebih kecil. Karena jumlah udara yang bercampur dengan uap minyak jarak kecil, maka kecepatan pembakarannya pun tidak begitu besar. Visualisasi nyala api ini dapat dilihat pada gambar 4.8 yang ada dibawah.

Pada $\phi = 0.90524$ api dalam kondisi *lift off*, sehingga jika kita tambah dengan udara yang lebih banyak lagi maka yang terjadi maka api akan padam. Penyebab dari

terjadinya *lift off* adalah karena difusivitas massa alir reaktan (campuran udara dan bahan bakar) memiliki nilai yang lebih besar daripada nilai difusivitas panasnya.

4.2.2 Hubungan Variasi *Equivalent Ratio* terhadap Tinggi Api

Grafik hubungan variasi *Equivalent Ratio* terhadap ketinggian api dapat dilihat pada gambar 4.5 berikut:



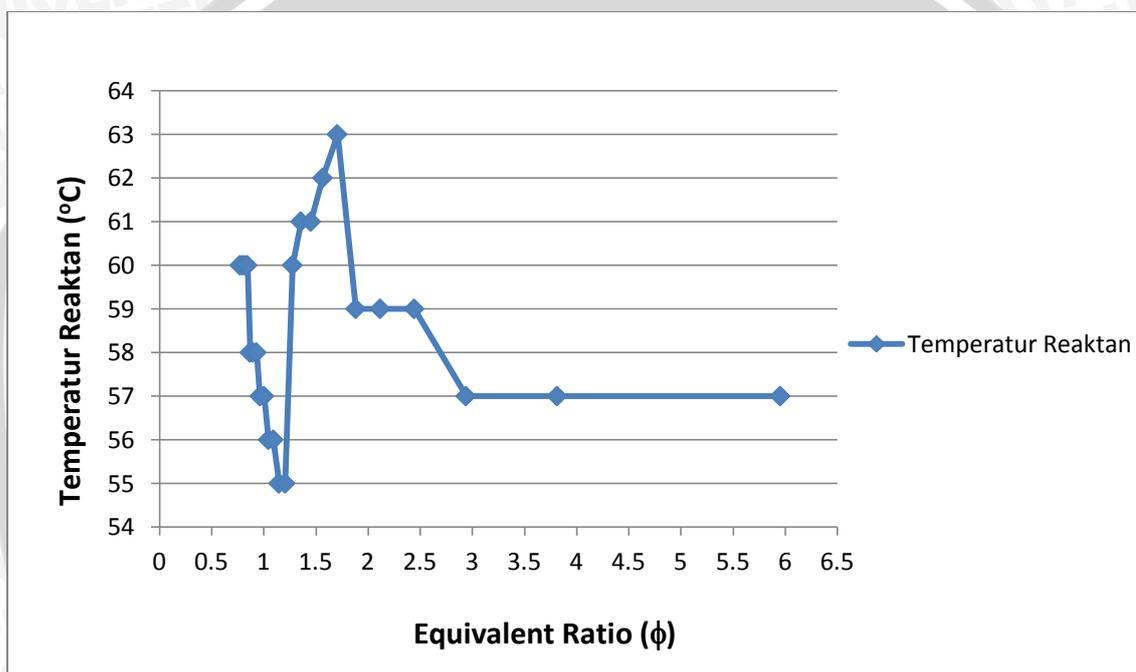
Gambar 4.5: Grafik Hubungan Variasi *Equivalent Ratio* Terhadap Tinggi Api

Pada gambar 4.5 menunjukkan urutan tinggi api dari berbagai variasi rasio ekivalen mulai dari 0.90524 sampai pada rasio ekivalen 6.97514 dengan tinggi api yang beragam dari yang terendah yaitu sebesar 1.4613 cm sampai yang tertinggi yaitu 5.9073 cm. Pada pembakaran mulai dari rasio ekivalen 0.90524 sampai dengan rasio ekivalen yang mendekati stoikiometri (masih pembakaran miskin) terlihat tinggi api semakin tinggi. Hal ini dapat terjadi karena pembakaran yang terjadi semakin mendekati pada rasio ekivalen stoikiometrinya. Dengan kata lain pembakaran yang terjadi akan mendekat pembakaran sempurna.

Tetapi, apabila pembakaran yang terjadi semakin jauh melambat maka terjadi pembakaran kaya, dan dapat berakibat adanya ketidakstabilan pola ketinggian api. Yang memungkinkan hal ini dapat terjadi karena pada daerah pembakaran kaya adalah fraksi massa antara udara dengan bahan bakar akan semakin kecil. Sehingga pembakaran yang terjadi akan semakin menjauhi titik stoikiometrinya. Karena pembakaran yang terjadi

tidak sempurna, maka akan memungkinkan adanya *droplet* minyak jarak yang belum terbakar dari pembakaran yang sebelumnya. Oleh karena itu *droplet* minyak jarak ini baru bisa terbakar setelah mendapatkan energi aktivasi yang cukup dan akhirnya pembakaran baru bisa terjadi (pembakaran lanjut). Hal inilah yang mengakibatkan adanya warna merah pada pola nyala api. Visualisasi dari pola nyala api ini dapat dilihat juga pada gambar 4.8 pada bagian kiri (gambar nomor 24).

Hal yang mempengaruhi terbentuknya *droplet* adalah temperatur reaktan yang berada di *burner*. Nilai – nilai temperatur reaktan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

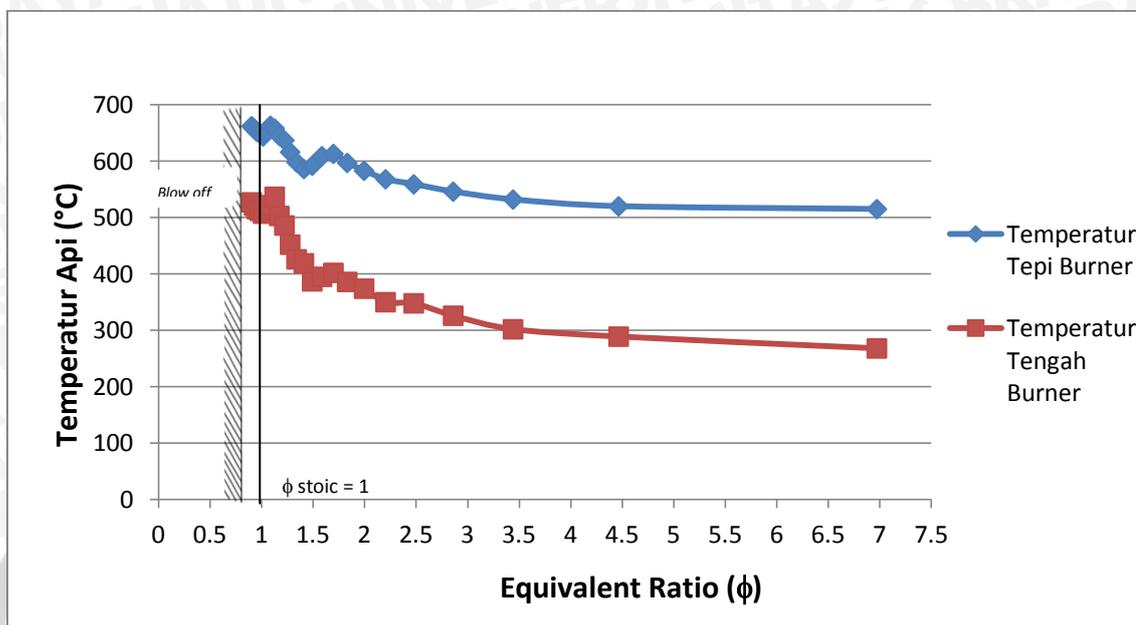


Gambar 4.6 : Grafik Hubungan *Equivalent Ratio* dengan Temperatur Reaktan

Semakin rendah temperatur reaktan maka akan memperbesar kemungkinan *droplet* uap minyak jarak semakin banyak terbentuk, sehingga *droplet* yang tidak terbakar pada pembakaran awal (yang dekat dengan *nozzle*) akan terbakar pada pembakaran selanjutnya (yang jauh dari *nozzle*). Sehingga api akan semakin tinggi. Begitu pula sebaliknya, jika temperatur reaktan sudah tinggi maka *droplet* uap minyak jarak yang terbentuk semakin sedikit, sehingga ketinggian api akan berkurang.

4.2.3 Hubungan Variasi *Equivalent Ratio* Terhadap Temperatur Api

Grafik hubungan variasi *Equivalent Ratio* terhadap temperatur api dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut:



Gambar 4.7: Grafik Hubungan Variasi *Equivalent Ratio* Terhadap Temperatur Api

Mengamati grafik pada gambar 4.7 di atas terlihat bahwa adanya kesamaan pola pada grafik temperatur tepi dan tengah *burner*. Pada daerah kiri stoikiometri (pembakaran miskin) terlihat bahwa temperatur api yang dihasilkan hampir sama dengan temperature stoikiometrinya. Hal ini disebabkan karena pembakaran miskin masih dekat dengan nilai dari pembakaran stoikiometri. Dapat dilihat pada gambar 4.8 tentang pola nyala api, mulai gambar nomor 1 sampai gambar nomor 5 (pembakaran miskin) api terlihat lebih utuh jika dibandingkan dengan gambar nomor 6 sampai nomor 24 (pembakaran kaya) yang bagian tengahnya terlihat ada bagian yang kosong. Hal inilah yang menyebabkan temperatur pembakaran api miskin lebih tinggi daripada pembakaran api kaya. Selain itu fraksi massa reaktan pada pembakaran api juga mempengaruhi. Tetapi apabila dilihat pada nilai temperatur yang didapat pada pengujian, ada pola naik dan turunnya temperatur api. Hal ini karena dipengaruhi oleh karakteristik dari uap minyak jarak yang mudah sekali kehilangan panas dan mengembun, bisa saja ada beberapa uap minyak jarak yang mengembun terlebih dahulu sebelum terbakar sehingga pasokan bahan bakar menuju *burner* menurun menyebabkan api yang terbentuk temperaturnya menurun.

Membandingkan temperatur di tepi *burner* dan *center burner* terlihat bahwa secara umum di tepi *burner* memiliki temperatur yang lebih tinggi daripada temperatur

di *center burner*. Hal ini dikarenakan zona reaksi pembakaran terjadi di tepi *burner (nozzle)* dan semakin lama akan menuju ke pusat *burner*, sehingga bila dilihat secara keseluruhan nyala api *premixed* ini membentuk nyala api kerucut. Temperatur di *center burner (nozzle)* lebih rendah karena daerah tersebut merupakan daerah pemanasan awal dimana menerima panas secara difusi dari zona reaksi. Pada daerah ini belum terjadi pembakaran atau belum terbentuk nyala api. Jika dilihat pada visualisasi yang ada pada gambar 4.8, bagian tengah dari api terlihat kosong. Hal ini membuktikan bahwa pembakaran awal memang terjadi pada bagian tepi api dan panas yang dihasilkan dari pembakaran di tepi lama kelamaan bergerak menuju tengah api.

4.2.4 Pola Nyala Api



Gambar 4.8 Pola Api Dari Pembakaran Campuran Uap Minyak Jarak Dan Udara

Pada gambar diatas menyatakan urutan pola nyala api dengan berbagai variasi rasio ekivalen yaitu 0.90524; 0.93034; 0.95729; 0.98634; 1.01775; 1.05185; 1.08903; 1.12976; 1.17464; 1.22437; 1.27987; 1.34228; 1.41312; 1.49437; 1.58874; 1.70001; 1.83365; 1.99791; 2.20592; 2.48007; 2.86239; 3.44352; 4.46829; 6.97514. Nyala api berwarna biru menandakan pembakaran yang terjadi mendekati sempurna dimana sebagian besar didominasi pembakaran *premixed*. Warna kuning ini diakibatkan karena radiasi jelaga. Pada daerah berwarna kuning disebut juga daerah non-stoikiometri dimana pada daerah non-stoikiometri ini rasio campuran antara bahan bakar dan udara kurang atau lebih dari 1. Nyala api berwarna kuning menandakan pembakaran yang terjadi kurang atau menjauhi sempurna dimana didominasi oleh pembakaran difusi, sisa bahan bakar yang belum terbakar secara *premixed* terbakar kembali dengan udara sekitar secara difusi.

Pola api pada gambar 4.8 di atas memperlihatkan kecenderungan dimensi api mengecil dari rasio ekivalen 6.97514 sampai pada rasio ekivalen 1.99791, kemudian

dimensi api secara perlahan membesar sampai pada rasio ekivalen 1.12976 kemudian kembali mengecil hingga akhirnya *lift off* lalu padam. Dimensi api membesar seiring bertambahnya udara karena udara mengikat molekul bahan bakar lebih banyak, sehingga fraksi bahan bakar pada permukaan api meningkat. Meningkatnya fraksi bahan bakar ini mengakibatkan bahan bakar yang belum terbakar sempurna semakin banyak sehingga bahan bakar yang terbakar secara difusi dengan udara sekitar meningkat menyebabkan api semakin menjulang ke atas. Penambahan udara berdampak pada kecepatan reaktan dan difusivitas massa reaktan meningkat. Molekul-molekul campuran udara dan bahan bakar saling bertumbukkan dan bergerak keluar *nozzle* dengan sangat cepat menyebabkan campuran udara dan bahan bakar tidak terbakar sepenuhnya, banyak bahan bakar yang terlewat dan akhirnya terbakar secara difusi. Dimulai dari rasio ekivalen 1.356111 dimensi api mulai mengecil perlahan hingga akhirnya padam. Kondisi ini karena pembakaran telah mulai mendekati sempurna sehingga api difusi yang terbentuk perlahan mulai lenyap hingga akhirnya hanya api premixed saja yang terbentuk.

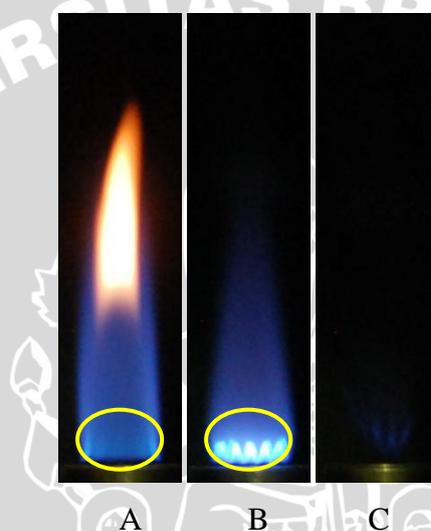
Pada gambar pola api di atas dapat kita amati bahwa api padam setelah melewati stoikiometrinya. Dengan bantuan visualisasi api seperti ini maka kita bisa melihat seperti apa pola api yang dibentuk saat keadaan hampir stoikiometri. Kondisi dimana *equivalent ratio* = 1 merupakan kondisi stoikiometri. Jika kita lihat pada pola nyala api dari data pengujian maka nyala api yang hampir mendekati stoikiometri dapat dilihat pada *equivalent ratio* 1.01775.

Dari penelitian ini juga didapatkan beberapa geometri nyala api yang unik pada pembakaran minyak jarak sehingga menjadi menarik untuk dianalisa.



Gambar 4.9 Nyala Api pada Rasio Ekivalen 1.01775

Gambar 4.9 memperlihatkan nyala api yang berbentuk *cells* (daerah yang dilingkari). Ini merupakan salah satu fenomena ketidakstabilan api yang disebabkan karena komponen asam lemak bahan bakar minyak jarak memiliki kecepatan pembakaran yang berbeda – beda. Ada beberapa komponen yang merupakan kerucut – kerucut kecil berwarna biru terang, ada juga komponen lain berupa kerucut besar yang menyelimuti kerucut kecil, dan ada bagian yang terlihat kosong (pada bagian tengah api). Perbedaan ini dapat disebabkan karena minyak jarak memiliki berbagai macam asam lemak. Berbagai macam asam lemak minyak jarak juga memiliki karakteristik yang berbeda – beda. Karena karakteristik asam lemak minyak jarak berbeda, maka titik nyala asam lemak tersebut juga berbeda.



Gambar 4.10 Pada Beberapa Ekuivalen Rasio
 A: Nyala Api pada Rasio Ekuivalen 6.97514
 B: Nyala Api pada Rasio Ekuivalen 1.01775
 C: Nyala Api pada Rasio Ekuivalen 0.90524

Selanjutnya gambar 4.10 adalah nyala api pada rasio ekuivalen 6.97514 (pembakaran kaya), rasio ekuivalen 1.01775 (mendekati stoikiometri) dan rasio ekuivalen 0.90524 (pembakaran miskin). Dari visualisasi diatas, tampak jelas bahwa pembakaran kaya (gambar A) mempunyai ketinggian yang lebih besar dari pada pembakaran stoikiometri dan pembakaran miskin. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan besar kecilnya laju reaktan. Pembakaran kaya memiliki tinggi yang lebih besar karena massa udara yang dialirkan sedikit. Dengan sedikitnya udara yang berikatan dengan uap minyak jarak, maka ikatan antara udara dan bahan bakar belum begitu sempurna dan butuh udara dari luar agar uap minyak jarak bisa terbakar seluruhnya. Pembakaran yang mendekati stoikiometri mempunyai tinggi yang lebih rendah daripada pembakaran kaya dan lebih tinggi dari pada pembakaran miskin. Hal ini juga diakibatkan dari jumlah

pasokan udara yang berikatan dengan uap minyak jarak. Pada rasio ekuivalen 1.01775, udara dan bahan bakar berikatan dengan komposisi yang tepat. Oleh karena itu tinggi yang dihasilkan semakin kecil karena sudah tidak lagi membutuhkan banyak udara luar. Begitu juga dengan pembakaran miskin yang tampak pada gambar C. Apabila jumlah udara yang dialirkan semakin banyak dengan jumlah uap minyak jarak yang tetap, berarti kecepatan reaktan juga semakin besar. Tetapi jika laju reaktan lebih besar daripada kecepatan pembakaran, maka yang terjadi adalah *lift off*. Api akan terangkat dari mulut *nozzle* dan apabila kita tambahkan udara lagi, maka api akan padam.

Hal lain yang dapat kita lihat adalah proses terbentuknya pembakaran *cells*. Pada saat pembakaran kaya, pembakaran *cells* belum seberapa terlihat sempurna. Hanya terlihat api dengan warna biru muda pada bagian tepi bawah. Seiring dengan penambahan udara, pembakaran *cells* semakin terlihat jelas sampai pada pembakaran stoikiometrinya. Terlihat bahwa muncul api berbentuk kerucut kecil dengan warna api yang lebih terang. Tetapi seiring dengan bertambahnya udara yang dialirkan ke *burner*, pembakaran *cells* tidak lagi terlihat. Hal ini nampak pada rasio ekuivalen 0.90524. Api mulai terangkat dari mulut *nozzle*. Hal ini disebabkan karena laju reaktan yang lebih besar daripada kecepatan pembakaran. Oleh karena itu tidak ada api yang muncul tepat pada mulut *nozzle*.

