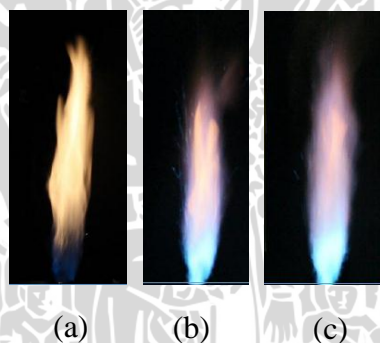


BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Dalam penelitian ini diamati visualisasi nyala api dan temperatur api pembakaran *spray* biodiesel minyak jarak dengan variasi *air to liquid mass ratio* (ALR). ALR divariasikan sebesar 0.8, 1, 1.2, 1.4 dan 1.6 pada setiap debit bahan bakar sebesar 2.6 mL/menit, 3.6 mL/menit dan 4.6 mL/menit. Foto api hasil pembakaran *spray* biodiesel minyak jarak disusun sejajar dengan skala yang sama. Hal ini bertujuan agar tinggi api dan warna api pembakaran *spray* biodiesel minyak jarak pada ALR dan debit bahan bakar yang berbeda dapat dibandingkan. Gambar 4.1 adalah salah satu contoh hasil visualisasi nyala api pembakaran *spray* biodiesel minyak jarak pada ALR 1 dengan debit bahan bakar yang berbeda. Hasil visualisasi nyala api yang lebih lengkap dapat dilihat pada sub bab 4.3.



Gambar 4.1 Visualisasi nyala api pembakaran pada ALR 1 debit bahan bakar (a) 2.6 mL/menit (b) 3.6 mL/menit (c) 4.6 mL/menit.

Temperatur api diamati pada arah aksial dan radial. Temperatur api di arah aksial diamati pada titik 25%, 50% dan 75% dari tinggi api. Sedangkan pada arah radial temperatur api diamati pada titik -1 cm; -0.5 cm; 0 cm; 0.5 cm dan 1 cm dengan titik acuan di pusat penampang *flame holder*. Dalam penelitian ini pada ALR 0.8 - 1.6 dengan debit bahan bakar 3.6 mL/menit diamati temperatur api di arah aksial. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perubahan temperatur dan distribusi temperatur di arah aksial pada ALR yang berbeda. Berikut ini adalah tabel hasil pengukuran temperatur api dititik aksial pada ALR 0.8-1.6 dengan debit bahan bakar 3.6 mL/menit.

Tabel 4.1 Temperatur api arah aksial pada ALR 0.8-1.6 dengan debit bahan bakar 3.6 mL/menit.

Debit bahan bakar 3,6 mL/menit					
ALR \ Aksial	0,8	1	1,2	1,4	1,6
25%	946,05 °C	1242,22 °C	1318,45 °C	1495,78 °C	1547,19 °C
50%	1200,88 °C	1395,46 °C	1509,94 °C	1595,73 °C	1642,95 °C
75%	1108,05 °C	1343,16 °C	1475,74 °C	1567,7 °C	1567,74 °C

Pada ALR 0.8 dan 1.4 dengan debit bahan bakar 3.6 mL/menit temperatur api diamati pada arah radial. Temperatur api pada arah radial diamati di ketinggian 25%, 50% dan 75% dari tinggi total api dengan titik radial -1 cm; -0.5 cm; 0 cm; 0.5 cm dan 1 cm. Pengamatan temperatur pada arah radial ini bertujuan untuk mengetahui perubahan temperatur dan distribusi temperatur di arah radial pada ALR yang berbeda. Pengamatan temperatur pada arah radial juga diamati pada ALR 1.4 dengan variasi bahan bakar 2.6 mL/menit, 3.6 mL/menit dan 4.6 mL/menit. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perubahan temperatur dan distribusi temperatur pada ALR sama dengan debit bahan bakar yang berbeda. Berikut ini adalah tabel hasil pengambilan temperatur di titik radial pada debit bahan bakar 3.6 mL/menit ALR 0.8. Data temperatur selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.2 Temperatur api arah radial pada ALR 0.8 dengan debit bahan bakar 3.6 mL/menit.

Debit bahan bakar 3,6 mL/menit ALR 0,8					
Aksial \ Radial	-1 (cm)	-0,5 (cm)	0 (cm)	0,5 (cm)	1 (cm)
25%	1172,65 °C	949,76 °C	946,05 °C	1094,42 °C	1192,33 °C
50%	1154,34 °C	1214,36 °C	1200,88 °C	1190,89 °C	1180,64 °C
75%	911,33 °C	1057,43 °C	1108,05 °C	1014,73 °C	942,49 °C

4.2 Contoh Perhitungan ALR , Kecepatan Udara dan Kecepatan Bahan Bakar

Pada debit bahan bakar yang berbeda dengan ALR yang sama, maka debit udara yang digunakan juga berbeda karena ALR adalah perbandingan massa alir udara dan bahan bakar sesuai rumus :

$$ALR = \frac{\dot{m} \text{ udara}}{\dot{m} \text{ bahan bakar}}$$

Pada ALR yang sama bila debit bahan bakar semakin tinggi maka debit udara yang digunakan juga akan semakin tinggi. Contoh perhitungan ALR adalah sebagai berikut.:

$$ALR = 1,2$$

$$\text{debit bahan bakar (Q bb)} = 2,6 \text{ mL/menit}$$

$$\rho \text{ bahan bakar} = 853 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ udara} = 1,293 \text{ kg/m}^3$$

$$ALR = \frac{\rho \text{ udara} \cdot (Q_u)}{\rho \text{ bahan bakar} \cdot (Q_{bb})}$$

$$Q_u = \frac{\rho \text{ bahan bakar} \cdot (Q_{bb}) \cdot ALR}{\rho \text{ udara}}$$

$$= \frac{853 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,6 \frac{\text{mL}}{\text{menit}} \cdot 0,8}{1,293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1000} = 1,37 \text{ L/menit}$$

Semakin tinggi debit udara maka kecepatan udara keluar meninggalkan nosel juga semakin tinggi. Hal ini juga berlaku pada penambahan bahan bakar. Semakin tinggi debit bahan bakar maka kecepatan bahan bakar meninggalkan nosel juga semakin meningkat sesuai dengan rumus:

$$Q = v \cdot A$$

Q = debit fluida

v = kecepatan fluida

A = luas penampang

Contoh perhitungan kecepatan bahan bakar meninggalkan nosel adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{bahan bakar}} &= 2,6 \text{ mL/menit} = 0,04333 \text{ cm}^3/\text{s} \\
 A_{\text{nosel bahan bakar}} &= 3,14 \cdot \frac{d^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{(0,035 \text{ cm})^2}{4} \\
 &= 0,000962 \text{ cm}^2 \\
 v_{\text{udara}} &= Q/A \\
 &= \frac{0,04333 \text{ cm}^3/\text{s}}{0,000962 \text{ cm}^2} = 45,06 \text{ cm/s} = 0,4506 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan kecepatan bahan bakar meninggalkan nosel adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{udara}} &= 1,37 \text{ liter/menit} = 22,83 \text{ cm}^3/\text{s} \\
 A_{\text{udara}} &= 3,14 \cdot \frac{d_{\text{total}}^2}{4} - 3,14 \cdot \frac{d^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{(0,1 \text{ cm})^2}{4} - 3,14 \cdot \frac{(0,035 \text{ cm})^2}{4} \\
 &= 0,00785 \text{ cm}^2 - 0,000962 \text{ cm}^2 \\
 &= 0,006888375 \text{ cm}^2 \\
 v_{\text{udara}} &= Q/A \\
 &= \frac{22,83 \text{ cm}^3/\text{s}}{0,006888375 \text{ cm}^2} = 3320 \text{ cm/s} = 33,20 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Untuk selengkapnya debit udara, kecepatan udara, dan kecepatan bahan bakar meninggalkan nosel dapat pada ALR 0,8, 1, 1,2, 1,4, 1,6 dengan debit udara yang berbeda dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.3 Hasil perhitungan kecepatan udara dan bahan bakar pada ALR berbeda

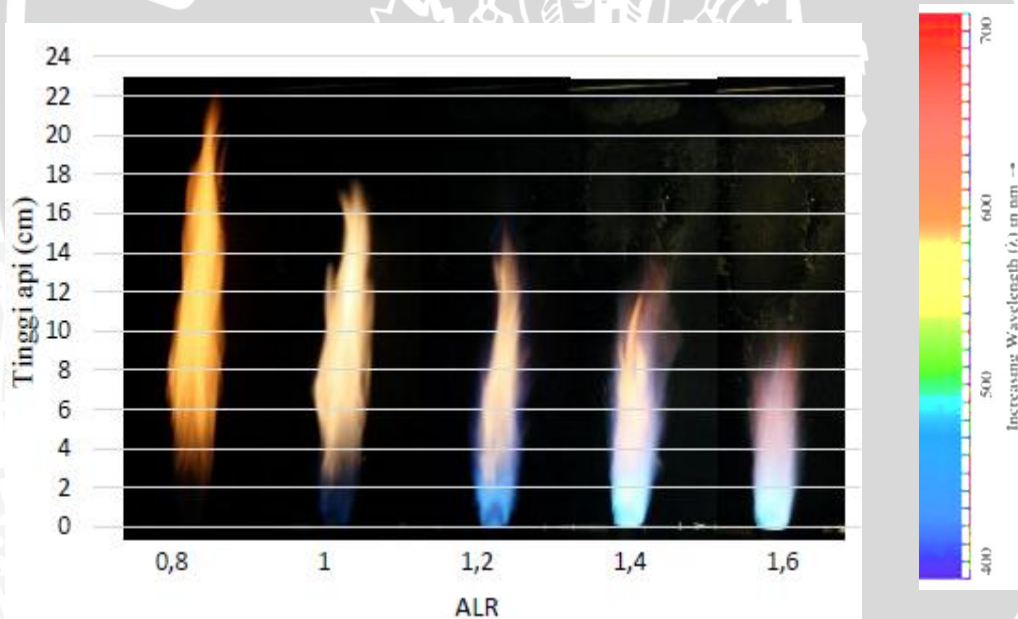
N0	Debit bahan bakar	Kecepatan bahan bakar (m/s)	Debit udara (L/menit)	Kecepatan udara (m/s)	ALR
1	2,6 mL/menit	0,4506	1,37	33,20	0,8
			1,72	41,50	1,0
			2,06	49,80	1,2
			2,40	58,10	1,4
			2,74	66,40	1,6
2	3.6 mL/menit	0,6239	1,90	45,97	0,8
			2,37	57,46	1,0
			2,85	68,95	1,2
			3,32	80,44	1,4
			3,80	91,94	1,6

3	4,6 mL/menit	0,797262	2,43	58,73	0.8
			3,03	73,42	1.0
			3,64	88,10	1.2
			4,25	102,79	1.4
			4,86	117,47	1.6

4.3 Pembahasan Data Visualisasi Api

4.3.1 Visualisai nyala api pada ALR yang berbeda

Hasil visualisasi pembakaran spray biodiesel minyak jarak menunjukkan tinggi api dan warna api yang berbeda-beda. Semakin tinggi ALR, tinggi api hasil pembakaran akan semakin memendek tetapi warna api akan berubah dari warna kuning orange menjadi warna biru terang. Warna api yang berubah dari warna kuning menjadi biru menunjukkan bahwa terjadi perubahan *spectrum* gelombang yang semakin memendek dari 570-590 menjadi 450-495 nm

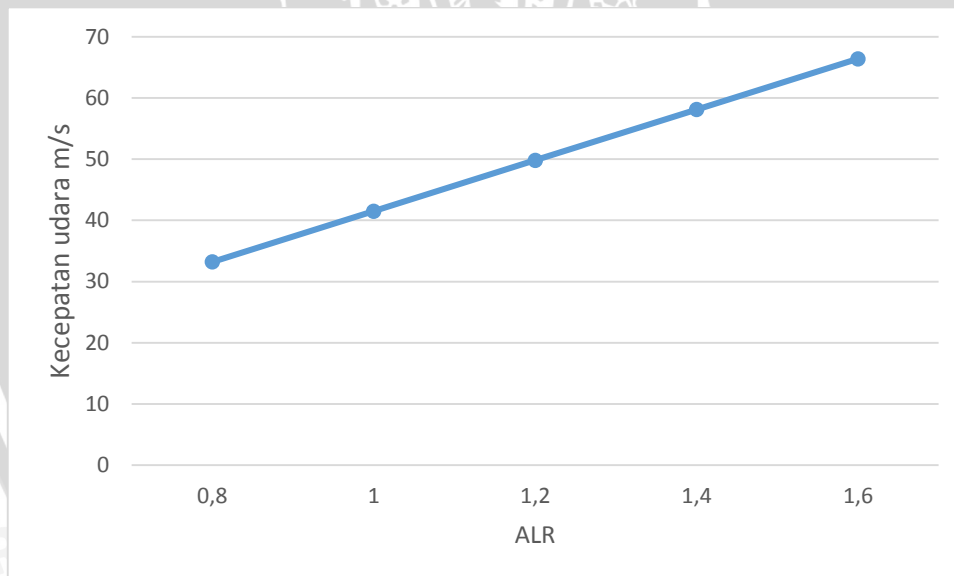


Gambar 4.2 Visualisasi nyala api debit bahan bakar 2,6 mL/menit.

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat panjang api paling tinggi dihasilkan oleh pembakaran *spray* biodiesel pada ALR 0.8 dengan tinggi mencapai 22 cm. Sedangkan panjang api terendah pada ALR 1.6 yaitu 9 cm. Pada ALR 0.8 didapatkan warna api kuning yang mencapai persentase 82%, sedangkan warna api biru hanya mencapai 18% dari tinggi api seluruhnya. Pada ALR 1.6 warna api lebih dominan berwarna biru. Warna api kuning pada ALR 0.8 disebabkan karena ukuran *droplet* pada ALR 0.8 lebih

besar dibandingkan dengan ukuran *droplet* pada ALR 1 – 1.6. Sehingga *droplet* lebih sulit menguap dan bercampur dengan udara. Jika ALR semakin tinggi, maka ukuran *droplet* akan semakin kecil dan distribusi ukurannya lebih homogen. Hal ini disebabkan kecepatan udara bertambah seiring dengan naiknya ALR. Tegangan geser yang diberikan oleh udara pada bahan bakar akan semakin besar jika kecepatan udara bertambah dengan nilai viskositas dan tegangan permukaan bahan bakar tetap. Sehingga bahan bakar lebih mudah terpecah menjadi *droplet* yang berukuran kecil. Ukuran *droplet* yang semakin kecil menyebabkan bidang kontak antara *droplet* dengan udara semakin besar sehingga *droplet* mudah menguap dan bercampur dengan udara. Akibatnya proses pembakaran dapat berlangsung lebih cepat.

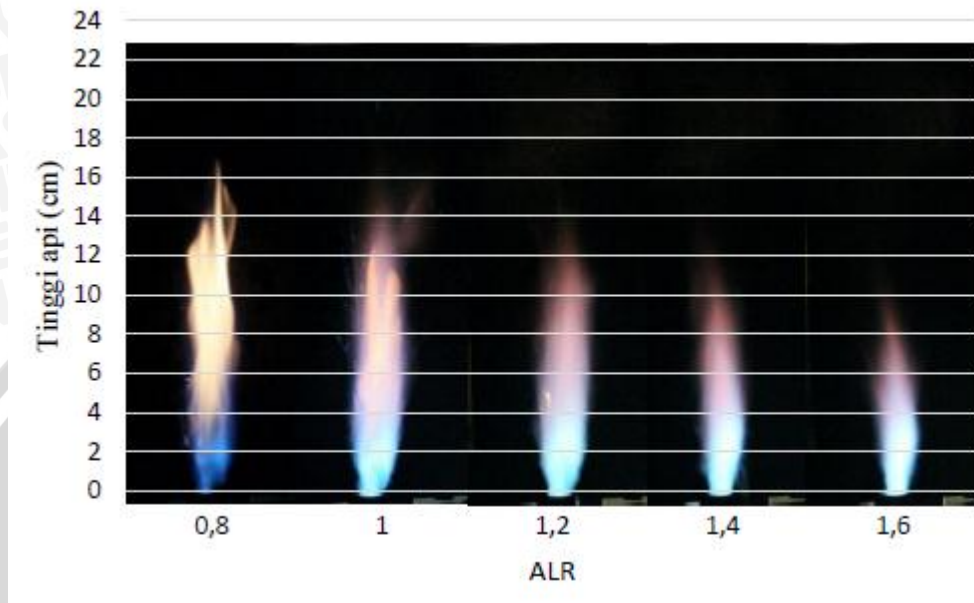
Kondisi api pada ALR 0,8 memiliki panjang tertinggi dan lebih laminar dibandingkan dengan ALR 1 sampai 1,6. Hal ini disebabkan karena kecepatan udara pada ALR 0,8 lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan udara ALR 1 sampai 1,6. Grafik kecepatan udara pada ALR 0,8 sampai 1,6 dapat dilihat pada grafik berikut :



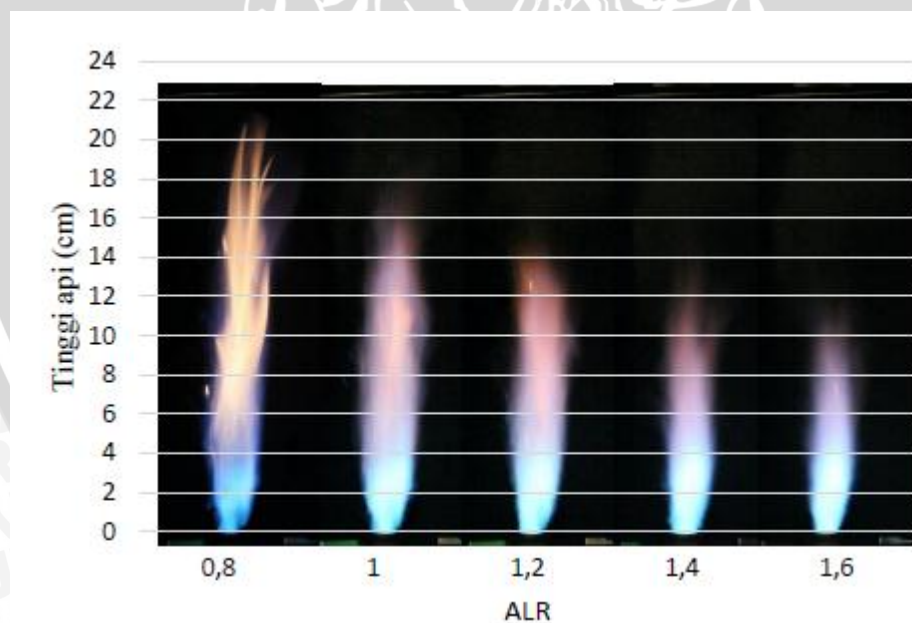
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara ALR terhadap kecepatan udara pada debit bahan bakar 2.6 mL/menit.

Semakin tinggi kecepatan udara maka api akan semakin turbulen dan semakin memendek (Wardana.2008:190). Memendeknya tinggi api juga dipengaruhi oleh semakin kecilnya ukuran *droplet* apabila ALR ditambah. Semakin kecil ukuran *droplet* maka reaksi pembakaran lebih cepat terjadi sehingga tidak membutuhkan zona reaksi yang besar (Panchasara.2010:46). Oleh karena itu visualisasi api pada ALR 1.6

memiliki tinggi api paling pendek. Menurunnya tinggi api dan dominannya warna biru terang apabila ALR ditambah, juga terjadi pada debit bahan bakar yang berbeda. Hal ini ditunjukkan pada gambar 4.4 dan 4.5 yang memperlihatkan visualisasi nyala api pada debit bahan bakar 3.6 mL/menit dan 4.6mL/menit.



Gambar 4.4 Visualisasi nyala api bahan bakar 3,6 mL/menit.

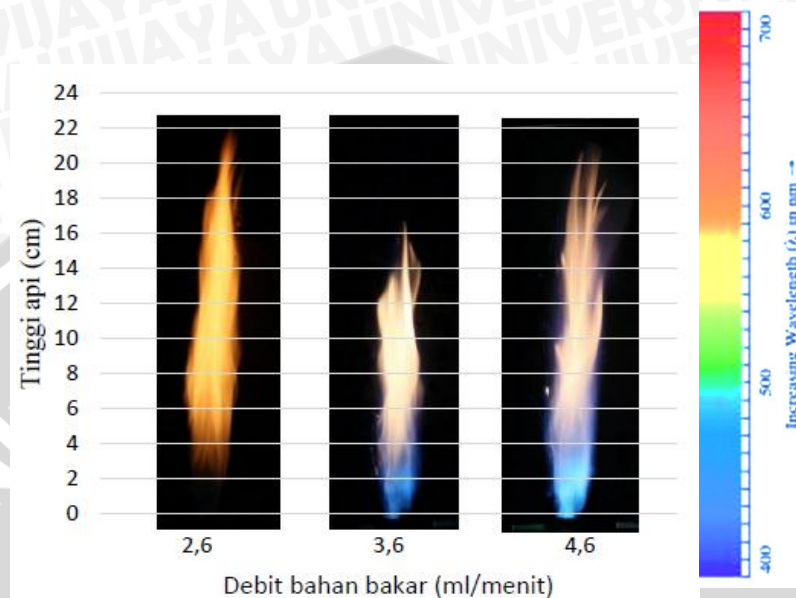


Gambar 4.5 Visualisasi nyala api bahan bakar 4,6 mL/menit.

4.3.2 Visualisai Nyala Api pada Debit Bahan Bakar yang Berbeda

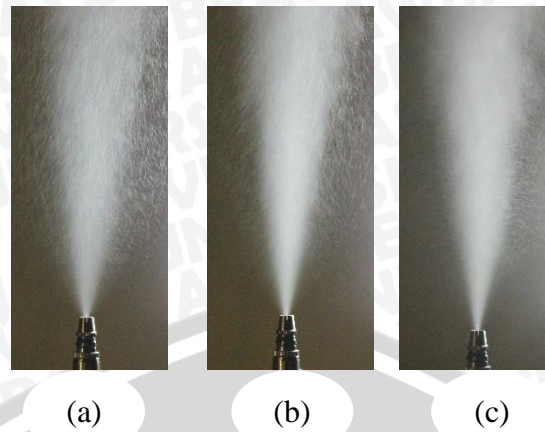
Hasil visualisasi nyala api pada debit bahan bakar yang berbeda dengan ALR yang sama memiliki panjang dan warna api yang berbeda-beda. Pada ALR 0.8, semakin

tinggi nilai debit bahan bakar maka warna api yang dihasilkan akan semakin biru dan turbulensinya lebih tinggi. Warna api yang berubah dari warna kuning menjadi biru menunjukkan bahwa terjadi perubahan *spectrum* gelombang yang semakin memendek dari 570-590 menjadi 450-495 nm



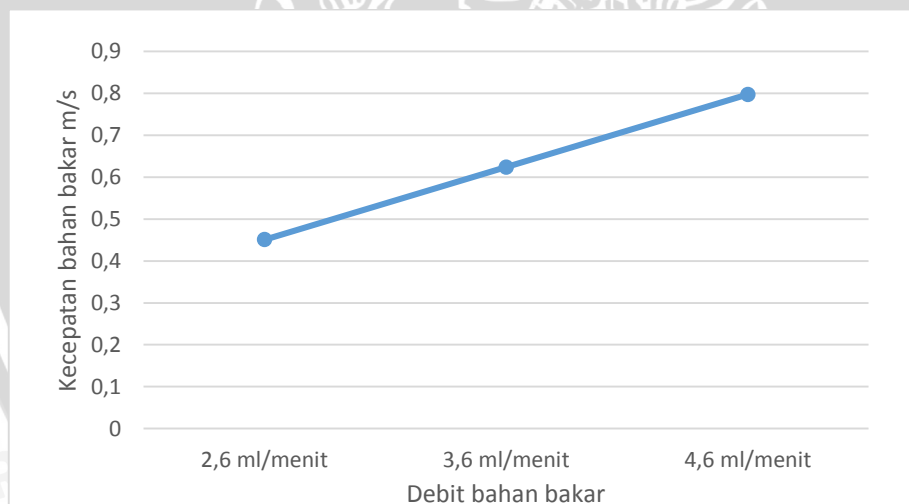
Gambar 4.6 Visualisasi nyala api pada ALR 0.8.

Gambar 4.6 menunjukkan visualisasi nyala api pada ALR 0.8 dengan debit bahan bakar yang berbeda. Panjang api tertinggi terdapat pada debit bahan bakar 2.6 mL/menit sebesar 22 cm. Untuk tinggi api pada debit bahan bakar 4.6 mL/menit hanya mencapai 20 cm. Sedangkan api pada debit bahan bakar 3.6 mL/menit memiliki panjang paling rendah yaitu 16 cm. Jika ditinjau dari warna api yang terbentuk, warna api biru semakin dominan dan bertambah terang seiring dengan bertambahnya bahan bakar. Untuk mempertahankan nilai ALR tetap sama, maka jika ada kenaikan nilai debit bahan bakar, debit udara juga akan mengalami kenaikan. Hal ini menyebabkan kecepatan udara yang digunakan untuk mengatomisasi bahan bakar semakin tinggi. Sehingga nyala api akan semakin pendek dan turbulen. Semakin tinggi kecepatan udara memberikan efek tegangan geser yang lebih tinggi terhadap bahan bakar sehingga bahan bakar lebih mudah mengalami break up menjadi *droplet* dengan ukuran yang semakin kecil dan seragam. Hal ini dibuktikan oleh gambar 4.7.



Gambar 4.7 Spray pada ALR 0,8 Debit bahan bakar (a) 2,6 mL/menit (b) 3,6 mL/menit (c) 4,6 mL/menit.

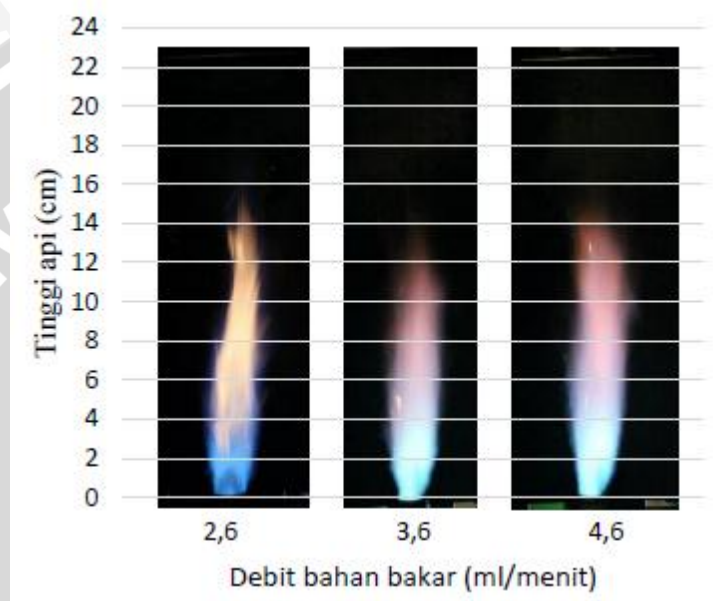
. Nyala api pada debit bahan bakar 4,6 mL/menit lebih tinggi, lebih turbulen dan lebih biru jika dibandingkan dengan debit bahan bakar 3,6 mL/menit. Hal ini disebabkan pada debit bahan bakar 4,6 mL/menit memiliki kecepatan bahan bakar yang lebih tinggi sehingga distribusi droplet lebih tersebar pada arah vertikal dengan ukuran diameter lebih kecil dan homogen. Berikut adalah grafik kecepatan bahan bakar pada debit bahan bakar 2,6 mL/menit, 3,6 mL/menit dan 4,6 mL/menit.



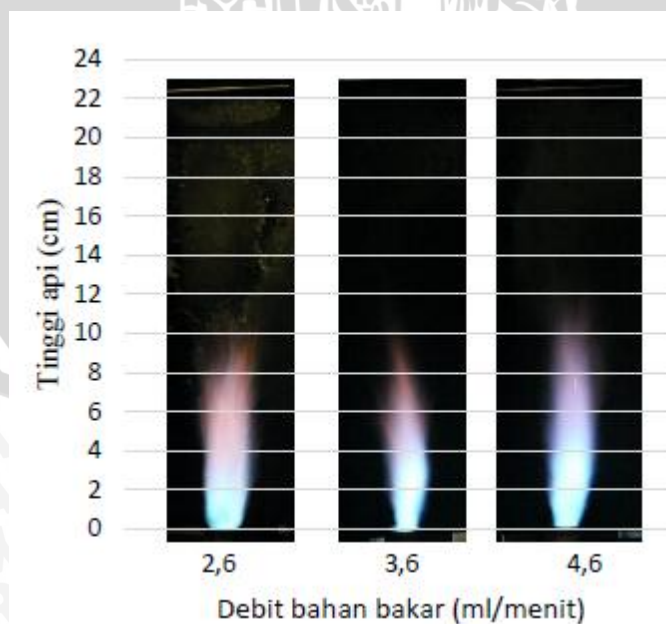
Gambar 4.8 Grafik hubungan debit bahan bakar terhadap kecepatan bahan bakar.

Gambar 4.9 adalah visualisasi api ALR 1,2 variasi debit bahan bakar. Terlihat bahwa Api pada debit bahan bakar 2,6 mL/menit mulai memendek dan tingginya sama dengan tinggi api pada debit bahan bakar 4,6 mL/menit akan tetapi masih terdapat warna kunung orange. Hal ini mengindikasikan bahwa penguapan dan pencampuran droplet pada debit bahan bakar 2,6 mL/menit lebih lambat dibandingkan pada debit bahan bakar 3,6 dan 4,6 mL/menit. Hal yang sama juga ditunjukkan pada gambar 4.10

yang memperlihatkan visualisasi nyala api pada ALR 1.6. Pada ALR 1.6 debit bahan bakar 2.6 mL/menit terlihat bahwa api kuning orange telah berubah seluruhnya menjadi api berwarna merah. Akan tetapi apabila dibandingkan dengan debit bahan bakar 3.6 dan 4.6 mL/menit, warna api merah pada debit bahan bakar 2.6 memiliki persentase yang lebih banyak dibanding warna api merah pada debit 3.6 dan 4.6 mL/menit. Hal ini mengindikasikan bahwa atomisasi pada debit bahan bakar 3.6 dan 4.6 mL/menit lebih baik dibandingkan debit 2.6 mL/menit.



Gambar 4.9 Visualisasi api pada ALR 1,2.

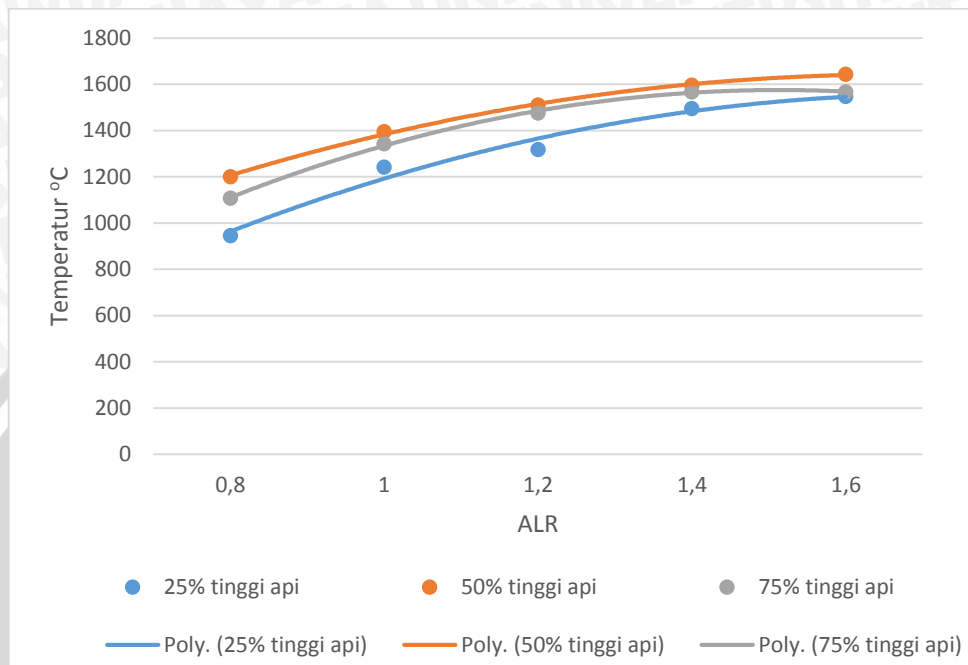


Gambar 4.10 Visualisasi api pada ALR 1,6.

4.4 Pembahasan Data Temperatur

4.4.1 Profil Temperatur Pada Arah Aksial

Dari hasil pengambilan data temperatur api pada arah aksial diperoleh grafik perbandingan temperatur seperti berikut :



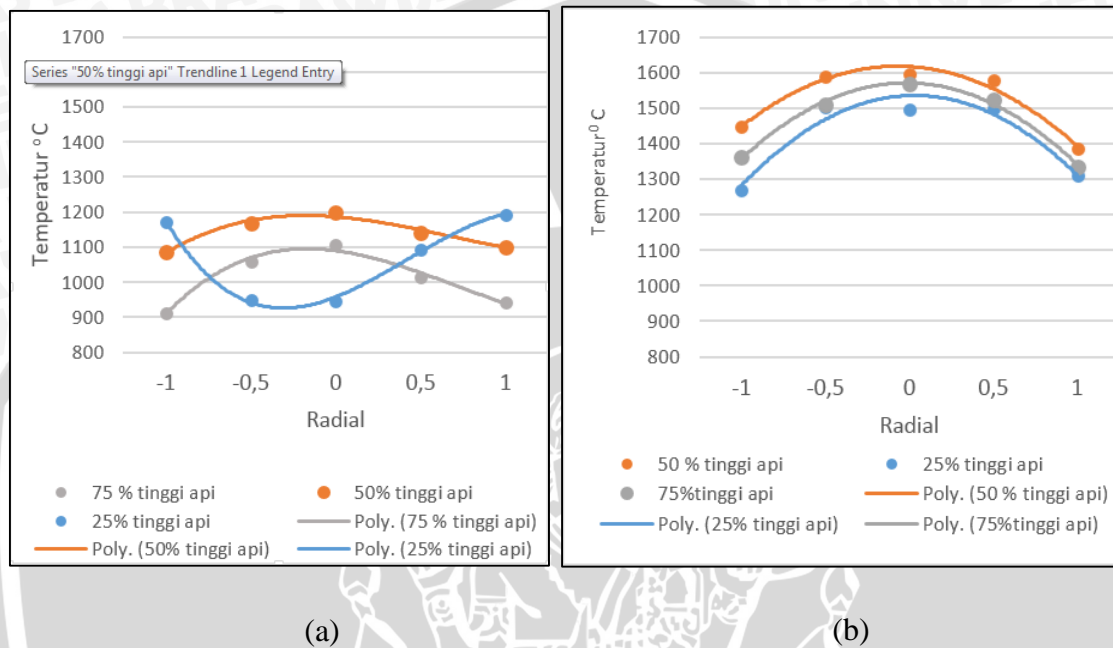
Gambar 4.11 Grafik hubungan ALR terhadap temperatur api pada arah aksial pada debit bahan bakar 3,6 mL/menit.

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa seiring bertambahnya ALR maka temperatur yang dihasilkan semakin tinggi. Kenaikan nilai ALR akan menyebabkan diameter *droplet* semakin kecil dan distribusi ukurannya lebih homogen. *Droplet* yang semakin kecil mengakibatkan luas bidang kontak *droplet* akan semakin besar. Dengan bidang kontak yang semakin besar, *droplet* akan lebih mudah menguap dan bercampur dengan udara sehingga dapat melepaskan panas yang lebih maksimal saat terbakar.

Temperatur di titik 50 % selalu menunjukkan nilai tertinggi jika dibandingkan dengan temperatur pada titik 25% dan 75%. Daerah pada titik 25% merupakan daerah dimana awal mula terjadinya penguapan *droplet*. Pada titik ini hanya sebagian *droplet* saja yang dapat menguap. Sehingga diperoleh temperatur yang relatif lebih rendah saat terjadi pembakaran. Daerah pada titik 50% merupakan daerah dimana hampir seluruh *droplet* menguap secara sempurna. Hal tersebut akan memaksimalkan pelepasan energi panas hasil proses pembakaran sehingga diperoleh temperatur dengan nilai tertinggi. Sisa bahan bakar yang belum terbakar di titik 50%, akan terbakar pada titik 75%

sehingga terjadi penurunan temperatur pada titik 75% karena pelepasan energi pembakaran tidak sebesar di titik 50%. Oleh karena itu pada ketinggian 50 % selalu menunjukkan temperatur tertinggi dibandingkan dengan titik 25% dan 75%.

4.4.2 Profil Temperatur Arah Aksial dan Radial Pada ALR yang Berbeda

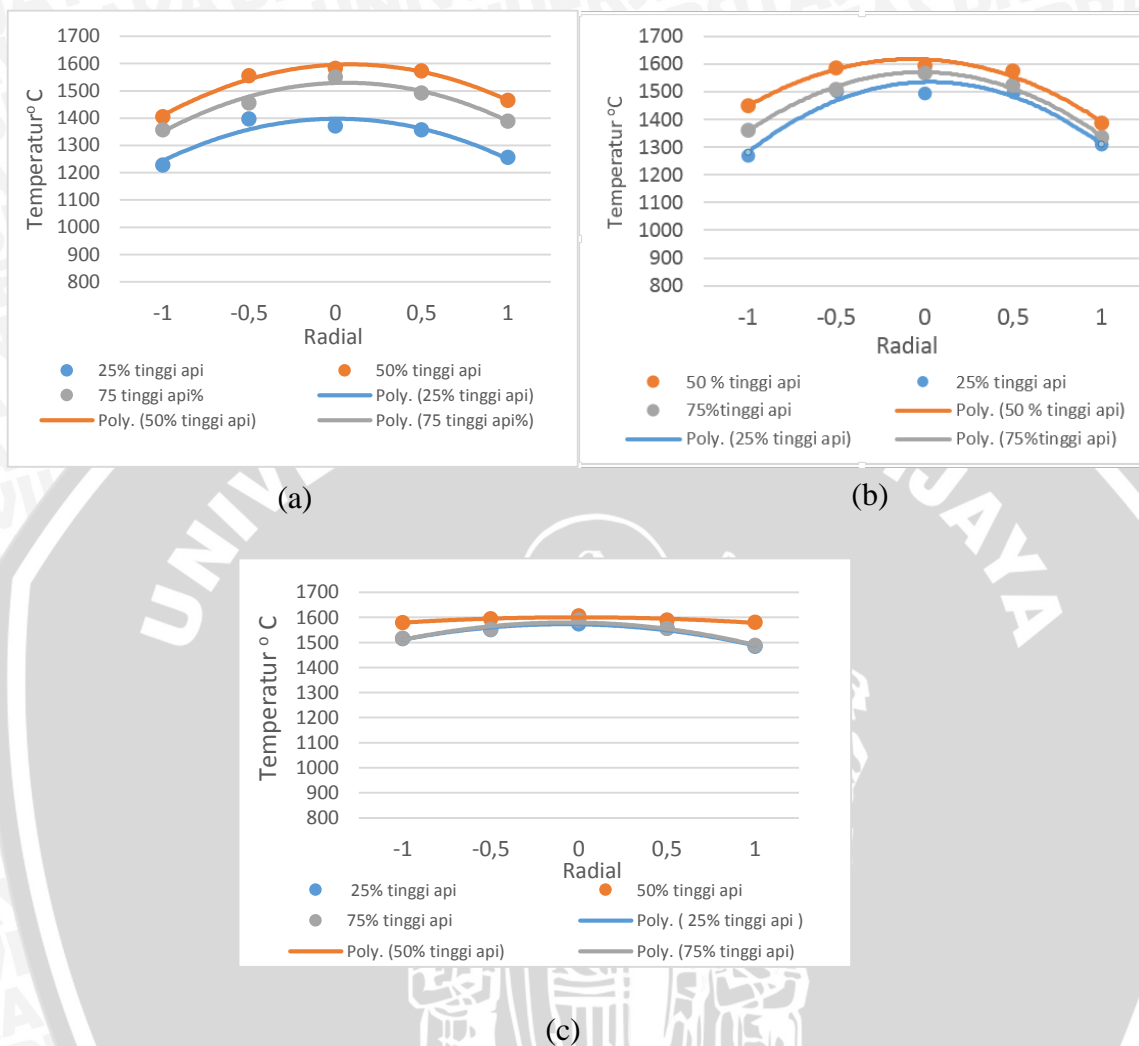


Gambar 4.12 Profil temperatur radial pada debit bahan bakar 3,6 mL/menit (a) ALR 0,8 (b) ALR 1,4

Gambar 4.12 menunjukkan distribusi temperatur api pada arah radial dan aksial. Temperatur pada ALR 1.4 lebih tinggi dibandingkan dengan ALR 0.8. Temperatur arah radial pada 25% tinggi api dengan ALR 0.8 memiliki kecenderungan yang berbeda dibandingkan pada titik pengukuran 50% dan 75%. Hal ini disebabkan pada ALR 0.8 ukuran diameter dropletnya relatif lebih besar, dan tidak terlalu homogen sehingga di titik 25% arah radial 0 cm droplet tidak mudah menguap dan bercampur dengan udara. Akibatnya energi panas yang dilepaskan saat pembakaran tidak maksimal.

Pada ALR 1.4 terlihat bahwa setiap pengukuran jarak radial dan aksial memiliki kecenderungan yang sama. Titik temperatur tertinggi selalu berada pada titik 0 cm arah radial. Hal ini disebabkan karena di titik 0 cm jumlah *droplet*nya lebih banyak dan homogen sehingga energi yang dilepaskan juga semakin besar. Temperatur akan semakin menurun bila titik pengukuran digeser menjauhi titik 0 cm disebabkan karena jumlah *droplet* yang berkurang sehingga energi yang dilepaskan semakin sedikit.

4.4.3 Profil Temperatur Arah Aksial dan Radial Pada Debit Bahan Bakar Yang Berbeda



Gambar 4.13 Profile temperatur api arah aksial dan radial ALR 1,4 dengan debit bahan bakar (a) 2,6mL/menit (b) 3,6mL/menit (c) 4,6mL/menit

Gambar 4.13 menunjukkan bahwa semakin tinggi debit bahan bakar pada ALR yang sama, distribusi temperatur yang dihasilkan akan semakin merata. Bila ketiga grafik dibandingkan, dapat dilihat bahwa distribusi temperatur terbaik diperoleh pada debit bahan bakar 4.6 mL/menit. Hal ini mengindikasikan bahwa pada debit bahan bakar 4.6 mL/menit, *droplet* memiliki diameter yang lebih kecil dan homogen. Diameter *droplet* yang semakin kecil dan homogen disebabkan kecepatan udara pada ALR 1.4 dengan debit bahan bakar 4.6 mL/menit lebih tinggi dibandingkan dengan 2.6 dan 3.6 mL/menit. Semakin tinggi kecepatan udara maka momentum yang dihasilkan untuk mengatomisasi bahan bakar lebih besar, sehingga lebih mudah terbentuk *droplet*

dengan diameter yang lebih kecil dan homogen. Diameter *droplet* yang homogen dan ukurannya yang semakin kecil menyebabkan *droplet* cepat menguap dan bercampur dengan udara sehingga lebih mudah terbakar dan melepaskan energi pembakaran dengan distribusi yang merata.

Dari Gambar 13 juga dapat dilihat bahwa pada debit bahan bakar 4.6 memiliki temperatur tertinggi dibanding debit bahan bakar 2.6 dan 3.6 mL/menit baik pada arah aksial maupun radial. Hal ini disebabkan karena pada debit bahan bakar 4.6 mL/menit menghasilkan atomisasi dengan jumlah *droplet* yang lebih banyak dan lebih homogen dibanding 3.6 dan 2.6 mL/menit sehingga pada debit 4.6 mL/menit melepaskan energi pembakaran yang lebih besar dibanding 2.6 mL/menit dan 3.6 mL/menit.

