

**PENGARUH JENI NOSEL TERHADAP POLA ALIRAN
BAHAN BAKAR DAN BENTUK NYALA API PADA PROSES
PEMBAKARAN DIFUSI MINYAK TANAH**

SKRIPSI

Konsentrasi Konversi Energi

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

BUDI SUNARTO
NIM. 0210623021

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2007

**PENGARUH JENI NOSEL TERHADAP POLA ALIRAN
BAHAN BAKAR DAN BENTUK NYALA API PADA PROSES
PEMBAKARAN DIFUSI MINYAK TANAH**

SKRIPSI

Konsentrasi Konversi Energi

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

BUDI SUNARTO
NIM. 02110623021

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Rudy Soenoko, M. Eng. Sc
NIP. 131 411 121

Ir. Suharto, MT.
NIP. 131 131 025

**PENGARUH JENI NOSEL TERHADAP POLA ALIRAN
BAHAN BAKAR DAN BENTUK NYALA API PADA PROSES
PEMBAKARAN DIFUSI MINYAK TANAH**

Disusun oleh

BUDI SUNARTO
Nim. 0210623022-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 31 juli 2007

DOSEN PENGUJI

Skripsi I

Ir. Purnomo Budi S., M.Sc., Ph.D.

Skripsi II

Ir. Djarot B Darmadi MT

Komprehensif

Dr. ir. Achmad As,ad Sonief, MT.
NIP. 131

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST,MT.
NIP.132 159 708

Kata pengantar

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya. Sehingga penulis skripsi dengan judul Pengaruh Jenis Nosel Terhadap Pola Aliran Bahan Bakar Dan Bentuk Nyala Api Pada Proses Pembakaran Difusi Minyak Tanah dapat diselesaikan dengan baik sesuai yang diharapkan.

Dengan selesainya penulisan skripsi ini, tidak lupa penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST.MT. selaku Ketua Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Ir.Tjuk Oerbandono, M.Sc. selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Dr.Ir Rudy Soenoko, M.Eng.Sc. selaku ketua kelompok konsentrasi konversi energi sekaligus Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, petunjuk dan saran dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Ir.Suharto, MT. selaku dosen wali dan juga Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, petunjuk dan saran dalam penyusunan skripsi ini.
5. semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini.

Menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih sangat jauh dari sempurna, maka dari itu masukan berupa saran dan kritik dari berbagai pihak demi kesempurnaan skripsi ini sangat diharapkan. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya, juga bagi pembaca pada umumnya. Tidak ada yang sempurna dalam karya manusia, tapi justru itulah yang membuat manusia berfikir untuk menghasilkan karya yang lebih baik.

Malang, Juli 2007

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vii
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	viii
RINGKASAN	ix
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	2
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Penelitian Sebelumnya	3
2.2 Pembakaran	4
2.3 Atomisasi	8
2.4 Bahan Bakar	10
2.5 Minyak Tanah	11
2.6 Nosel	12
2.7 Hipotesa	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Metode Penelitian	19
3.2 Variabel yang Diukur	19
3.3 Pelaksanaan Penelitian	20
3.4 Alat-alat Penelitian	20
3.5 Instalasi Penelitian	22
3.6 Prosedur Pengambilan Data	23

3.7	Diagram Alir Penelitian	24
BAB IV DATA DAN PEMAHASAN		25
4.1	Data Hasil Penelitian	25
4.2	Perhitungan Data	25
4.2.1	Perhitungan nilai konstanta kalibrasi manometer bahan bakar	25
4.2.2	Perhitungan nilai konstanta kalibarsi manometer udara	27
4.2.3	Perhitungan debit bahan bakar	29
4.2.4	Perhitungan debit udara	30
4.3	Pembahasan	31
4.3.1	Visualisasi pola aliran bahan bakar	31
4.3.2	Visualisasi api difusi	36
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN		43
5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran	43
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Komposisi udara kering	5
Tabel 2.2	Sifat-sifat minyak tanah	12



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Proses atomisasi dengan nilai Re dan We yang berbeda-beda.	3
Gambar 2.1	Pembakaran difusi sederhana	7
Gambar 2.3	Struktur api difusi	7
Gambar 2.4	Perubahan aliran dan struktur api	8
Gambar 2.5	Tingkat atomisasi pada nosel	9
Gambar 2.6	Mekanisme pembentukan <i>droplet</i>	10
Gambar 2.7	Perbedaan aliran nosel dan difuser	14
Gambar 2.8	Atomisasi pada nosel	14
Gambar 2.9	<i>Flat spray</i> .	15
Gambar 2.10	<i>Hollow cone spray</i>	15
Gambar 2.11	<i>Solid cone spray</i>	15
Gambar 2.12	Aliran fluida pada kontrol volume berbentuk nosel	16
Gambar 2.13	Gerakan partikel fluida sepanjang stream line	17
Gambar 3.1	Nosel konvergen-divergen dengan diameter <i>throat</i> 0.5 mm.	19
Gambar 3.2	Nosel konvergen dengan diameter <i>outlet</i> 0.5 mm	19
Gambar 3.4	Instalasi penelitian	22
Gambar 3.4	Diagram alir penelitian	24
Gambar 4.1	Grafik hubungan antara debit bahan bakar ideal dan debit bahan bakar aktual	27
Gambar 4.2	Grafik hubungan antara debit udara ideal dan debit udara aktual.	29
Gambar 4.3	pola aliran bahan bakar pada nosel konvergen-divergen dan nosel konvergen dengan debit bahan bakar $2.993 \times 10^{-7} m^3 / s$ dan debit udara $7.715 \times 10^{-4} m^3 / s$	31
Gambar 4.4	pola aliran bahan bakar pada nosel konvergen dengan debit udara	

	7.715 × 10 ⁻⁴ m ³ / s dan variasi debit bahan bakar.	33
Gambar 4.5	pola aliran pada nosel konvergen-divergen dengan debit Bahan bakar 2.115 × 10 ⁻⁷ m ³ / s dan variasi debit udara	34
Gambar 4.6	pola aliran bahan bakar pada nosel konvergen dengan debit udara 7.715 × 10 ⁻⁴ m ³ / s dan variasi debit bahan bakar	35
Gambar 4.7	pola aliran bahan bakar pada nosel konvergen dengan debit bahan bakar 2.115 × 10 ⁻⁷ m ³ / s dan variasi debit udara	35
Gambar 4.8	Bentuk nyala api difusi pada nosel konvergen-divergen dan nosel konvergen dengan debit bahan bakar 2.993 × 10 ⁻⁷ m ³ / s dan debit udara 7.715 × 10 ⁻⁴ m ³ / s	37
Gambar 4.9	Bentuk nyala api difusi pada nosel konvergen-divergen dengan debit udara 7.715 × 10 ⁻⁴ m ³ / s dan variasi debit bahan bakar	38
Gambar 4.10	Bentuk nyala api difusi pada nosel konvergen-divergen dengan debit Bahan bakar 2.115 × 10 ⁻⁷ m ³ / s dan variasi debit udara	40
Gambar 4.11	Bentuk nyala api difusi pada nosel konvergen dengan debit udara 7.715 × 10 ⁻³ m ³ / s dan variasi debit bahan bakar.	41
Gambar 4.12	Bentuk nyala api difusi pada nosel konvergen dengan debit bahan bakar 2.115 × 10 ⁻⁷ m ³ / s dan variasi debit udara	41

DAFTAR LAMPIRAN

- | No | Judul |
|-------------|--|
| Lampiran 1. | Data debit bahan bakar aktual (Q_{aktual}) dan debit bahan bakar ideal (Q_{ideal}) |
| Lampiran 2. | Data debit bahan bakar aktual (Q_{aktual}) dan debit bahan bakar ideal (Q_{ideal}) |
| Lampiran 3. | Tabel kecepatan udara ideal dan debit udara ideal |
| Lampiran 4. | Visualisasi pola aliran bahan bakar |
| Lampiran 5. | Visualisasi bentuk nyala api |



DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

Besaran dasar	Satuan	Simbol
Energi Total Penguapan	Kj/Kg	Q
Kalor Laten	Kj/Kg	Δh_v
Temperatur Permukaan <i>Droplet</i>	$^{\circ}\text{C}$	T_s
Temperatur Awal <i>Droplet</i>	$^{\circ}\text{C}$	T_o
Konstanta Kalibrasi Bahan Bakar	-	C_b
Massa Jenis Minyak Tanah	Kg/m^3	ρ_{bb}
Massa Jenis Air Manometer	Kg/m^3	ρ_m
Diameter Saluran Bahan Bakar	m	d_1
Diameter Dalam Orifis	m	d_2
Beda Ketinggian Yang Ditunjukkan Manometer	m	Δh
Percepatan Gravitasi	m/s^2	g
Rasio Diameter Orifis dengan Saluran Bahan Bakar	-	β
Kecepatan Aliran Bahan Bakar Ideal Pada Orifis	mm/s	V_{bb2}
Kecepatan Aliran Bahan Bakar Ideal Pada Saluran	mm/s	V_{bb1}
Luas Penampang Saluran Udara	mm^2	A
Debit Bahan Bakar Ideal	m^3/s	$Q_{bbideal}$
Debit Bahan Bakar Aktual	m^3/s	$Q_{bbaktual}$
Konstanta Kalibrasi Udara	-	C_u
Massa Jenis Udara	Kg/m^3	ρ_u
Debit Bahan Bakar Dalam Saluran Bahan Bakar	m^3/s	Q_{sbb}
Debit Udara Dalam Saluran Udara	m^3/s	Q_{sud}
Kecepatan udara aktual pada <i>pitot tube</i>	m/s	$V_{udaktua11}$

Debit Udara Ideal

m^3/s

$Q_{udideal}$

Debit Udara Aktual

m^3/s

$Q_{udaktual}$

Kecepatan aliran udara ideal pada manometer orifis

m/s

V_{ud2}

Kecepatan aliran udara ideal pada saluran

m/s

V_{ud1}



RINGKASAN

BUDI SUNARTO, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2007, Pengaruh Jenis Nosel Terhadap Pola Aliran Bahan Bakar dan Bentuk Nyala Api Pada Proses Pembakaran Difusi Minyak Tanah, Dosen Pembimbing : **Dr.Ir.Rudy Soenoko,M.Eng.Sc.** dan **Ir.Suharto,MT.**

Dalam perkembangan teknologi sekarang ini banyak sekali alat yang digunakan untuk berbagai aplikasi yang berbeda. Setiap alat terus dikembangkan untuk memperoleh alat yang efektif dan efisien, salah satunya adalah nosel. Dalam system pembakaran, nosel digunakan untuk menghasilkan fluida dalam bentuk butiran halus menyebar dengan debit yang relatif kecil agar proses pencampuran bahan bakar dengan udara terjadi dengan baik. Oleh karena itu penggunaan nosel yang tepat dalam pembakaran dapat meningkatkan efisiensi pembakaran.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jenis nosel terhadap pola aliran bahan bakar dan bentuk nyala api yang terjadi dalam proses pembakaran difusi minyak tanah. Jenis nosel yang digunakan dalam penelitian ini adalah nosel konvergen-divergen dan nosel konvergen.

Pada penelitian ini jenis pembakaran yang dipakai adalah pembakaran difusi, yaitu pembakaran dimana bahan bakar dan udara bercampur secara alami tanpa dilakukan pencampuran terlebih dahulu secara mekanik.

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa pada nosel konvergen-divergen mempunyai karakteristik pola aliran dan bentuk nyala api yang berbeda dengan nosel konvergen. Pada nosel konvergen-divergen mempunyai pola aliran yang lebih sempit dibandingkan nosel konvergen. Selain itu kepekatan bahan bakar pada nosel konvergen-divergen cenderung terjadi ditengah, sedangkan pada nosel konvergen bahan bakar lebih menyebar. Bentuk nyala api pada kedua nosel tersebut cenderung sama dengan bentuk pola aliran bahan bakar yang terjadi.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Dalam perkembangan teknologi sekarang ini, banyak sekali alat yang digunakan untuk berbagai aplikasi yang berbeda. Setiap alat terus dikembangkan guna memperoleh alat yang efektif dan efisien. Untuk itu perlu diketahui apa dan bagaimana karakteristik suatu alat. Dengan mengetahui karakteristik suatu alat maka dapat dirancang suatu alat yang sesuai kebutuhan.

Dalam bidang teknik mesin banyak sekali sistem yang berhubungan dengan sistem aliran fluida. Salah satu alat yang digunakan dalam sistem aliran fluida adalah nosel. Nosel umumnya berbentuk silinder atau tabung dengan diameter inlet dan outlet yang berbeda. Aplikasi nosel dalam bidang teknik mesin salah satunya sebagai alat pembakaran. Dalam sistem pembakaran, nosel digunakan untuk menghasilkan fluida dalam bentuk butiran halus menyebar dengan tekanan fluida yang keluar nosel relatif kecil dengan debit yang sama saat sebelum keluar dan setelah keluar nosel. Agar proses pencampuran bahan bakar dengan udara terjadi dengan baik. Sehingga penggunaan nosel yang tepat dalam pembakaran dapat meningkatkan efisiensi pembakaran.

Dalam penelitian ini bahan bakar yang digunakan adalah jenis kerosin. Pemakaian bahan bakar kerosin ini digunakan karena bahan bakar jenis ini harganya relatif murah dan mayoritas rumah tangga masih menggunakannya, sehingga jika didapat metode peningkatan efisiensi pembakarannya maka sangat berguna bagi masyarakat. Dari sinilah penulis mempunyai gagasan bagaimana cara meningkatkan efisiensi dari proses pembakaran, yaitu salah satunya dengan memodifikasi alat pembakaran yang menggunakan bahan bakar minyak tanah. Modifikasi yang dilakukan adalah pada keluaran bahan bakar yaitu pada nosel konvergen-divergen dan nosel konvergen yang dipakai. Sehingga dengan memodifikasi bentuk nosel akan meningkatkan efisiensi proses pembakaran.

Oleh karena itu diperlukan penelitian tentang pola aliran bahan bakar dan bentuk nyala api yang keluar nosel. Khususnya mengenai pola aliran dan bentuk

nyala api pada nosel konvergen-divergen dan nosel konvergen, dan diharapkan dapat dirancang nosel yang sesuai dengan kebutuhan.

1.1 Rumusan Masalah

Berbekal dari latar belakang diatas maka dapat diambil suatu rumusan masalah sebagai berikut :

- Bagaimana pengaruh bentuk nosel terhadap pola aliran bahan bakar dan bentuk nyala api pada proses pembakaran difusi minyak tanah.

1.3 Batasan Masalah

Mengingat luasnya obyek penelitian, maka untuk lebih memfokuskan arah pembahasan diperlukan batasan masalah sebagai berikut :

1. Bahan bakar minyak tanah yang digunakan adalah yang dijual dipasaran.
2. Tidak membahas konstruksi dari alat penelitian dan cara pembuatan nosel.
3. Tekanan dalam tabung konstan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh bentuk nosel terhadap pola aliran bahan bakar dan bentuk nyala api pada proses pembakaran difusi minyak tanah.

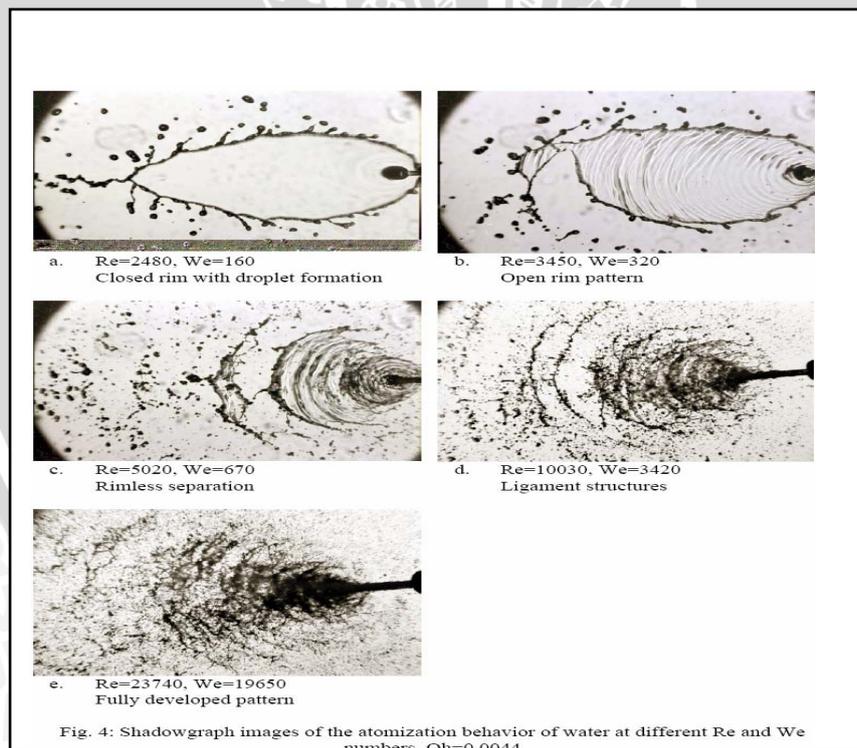
1.5 Manfaat Penelitian

1. Mampu menerapkan teori-teori yang telah didapat selama perkuliahan
Terutama masalah pembakaran.
2. Mengetahui bentuk nosel yang harus dipakai dalam aplikasinya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian-penelitian Sebelumnya

Kampen, J.V. dkk (1992) melakukan penelitian tentang proses atomisasi fluida *Newtonian* (air) menggunakan nosel dengan diameter keluar 0.7 mm dan 1mm. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasaikan *ohnesorge numbers* tetapi pada daerah nilai Reynold dan Weber tertentu ($60 < Re < 30000$ dan $100 < We < 30000$). Nilai Re dan We dapat dijadikan acuan terjadinya perbedaan *breakup* fluida. Semakin besar nilai Re dan We maka atomisasi yang terjadi akan semakin baik, droplet yang terbentuk akan semakin kecil, sehingga hal ini akan memudahkan proses pendifusian dengan udara. Gambar Proses atomisasi dengan variasi nilai Re dan We yang berbeda-beda dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.1 : Proses atomisasi dengan nilai Re dan We yang berbeda-beda.

Sumber : *Some Aspects of the Atomization Behavior of Newtonian and of Shear thinning Gelled non-Newtonian Fluids with an Impinging Jet Injector*

Tratama (2005) melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi bentuk nosel *conic* dan *contour* terhadap karakteristik aliran keluar nosel. Nosel *conic* dan *contour* memiliki dimensi ukuran yang sama yaitu diameter sisi masuk nosel 23 mm, diameter sisi keluar nosel 5 mm, panjang nosel 24.73 mm dan sudut kemiringan nosel 20° . Fluida air dialirkan dengan pompa melalui pipa sebelum masuk nosel. Nosel *conic* memiliki gradien penampang yang linear akan mengakibatkan perubahan aliran yang kecil, sedangkan pada nosel *contour* memiliki gradien penampang yang parabolik, sehingga pada bagian tertentu terdapat gradien penampang yang lebih besar bila dibandingkan nosel *conic*. Semakin besar gradien penampang maka akan mengakibatkan perubahan arah aliran yang terjadi didalam nosel, sehingga akan menimbulkan banyak terjadi tumbukan antar partikel fluida, *losses* semakin besar dan kapasitas alir aliran fluida keluar nosel akan lebih kecil.

2.2 Pembakaran

Pembakaran dapat didefinisikan sebagai suatu reaksi kimia (oksidasi) yang terjadi antara bahan bakar dengan udara dengan bantuan energi luar disertai dengan timbulnya cahaya dan menghasilkan kalor (Turns, 1996:6). Reaksi pembakaran dapat terjadi jika terdapat bahan bakar, oksigen dan temperatur yang tinggi.

Reaksi pembakaran merupakan reaksi eksoterem yaitu suatu reaksi dimana sistem melepaskan energi dalam bentuk panas kelingungan. Jika ditinjau secara termodinamika, reaksi eksoterem akan menyebabkan sistem melepaskan sejumlah entalpinya keluar sistem. Karena itu reaksi pembakaran dapat melepaskan sejumlah energi panas yang dapat menghasilkan kerja atau usaha. Melalui reaksi pembakaran dapat terjadi konversi energi dari energi kimia bahan bakar menjadi energi panas. Pembakaran terjadi melalui serangkaian reaksi yang cepat dan berkelanjutan, yang dikenal dengan reaksi rantai. Pada dasarnya reaksi rantai pada proses pembakaran hidrokarbon meliputi :

1. Proses pencampuran bahan bakar dengan udara/oksigen.
2. Pemutusan ikatan senyawa hidrokarbon menjadi radikal bebas yang tidak stabil.

3. Oksidasi radikal bebas sehingga membentuk produk pembakaran.

Pembakaran stoikiometri adalah pembakaran dimana atom dari pengoksidasi bereaksi secara kimia untuk menjadi berbagai produk. Pengoksidasi yang paling lazim digunakan adalah udara, karena udara tersedia dalam jumlah yang tidak terbatas. Untuk perhitungan dalam reaksi pembakaran, udara dianggap terdiri dari 21% oksigen dan 79% nitrogen (fraksi mol atau volume) dengan gas yang terkandung dalam udara bersifat mulia (inert) yaitu tidak ikut bereaksi baik dengan bahan bakar maupun udara.

Persamaan reaksi pembakaran secara umum dituliskan sebagai berikut (wijayanti, 2003:1)

Bahan bakar + oksidator \longrightarrow Produk Pembakaran

Produk-produk pembakaran untuk senyawa hidrokarbon adalah CO_2 , H_2O , dan N_2 sebagai inert gas. Pembahasan akan dibatasi pada proses pembakaran antara bahan bakar hidrokarbon dan oksigen dari udara. Udara memiliki komposisi seperti table 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Komposisi udara kering

Unsur / Senyawa	% Volume	% Berat	Berat molekul lb permole
O_2	20.99	23.19	32
N_2	78.03	75.47	28.016
Argon (Ar)	0.49	1.30	39.944
CO_2	0.03	0.04	44.003
H_2	0.01	0.00	2.016
Udara kering	100.00	100.00	28.016

Untuk perhitungan dalam reaksi pembakaran udara dianggap terdiri dari 21% volume O_2 dan 79% volume N_2 . Oleh karena itu pada reaksi pembakaran dengan udara penggunaan 1 mol O_2 akan melibatkan $(79/21) = 3.76$ mol N_2 .

Untuk memenuhi pembakaran sempurna, semua C diharapkan terbakar menjadi CO_2 dan semua H_2 akan terbakar menjadi H_2O . reaksi pembakaran sempurna antara bahan bakar (C_xH_y) dengan udara secara matematis dituliskan sebagai berikut (Wardana 1995:21)



Dalam persamaan tersebut digunakan jumlah udara minimum yang dibutuhkan untuk pembakaran sempurna dari suatu bahan bakar disebut dengan udara teoritis. Tapi pada kenyataannya sulit untuk mencapai pembakaran sempurna dengan udara teoritis. Sehingga banyak sekali pembakaran harus ditambahkan sejumlah udara pembakaran lagi agar semua bahan bakar dapat bereaksi secara sempurna dengan udara. Tambahan udara ini disebut sebagai udara berlebih (excess air)

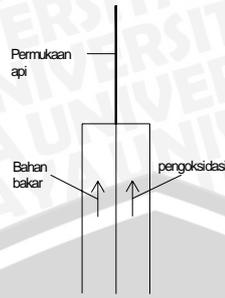
Dalam proses pembakaran diusahakan selalu terjadi pembakaran sempurna, dan untuk mencapai kondisi tersebut, ada empat syarat yang harus dipenuhi

1. Penguapan yang efisien dari bahan bakar.
2. Digunakan cukup udara.
3. Campuran bahan bakar dan udara harus homogen.
4. Temperatur pembakaran harus cukup tinggi.

Kalau salah satu syarat ini tidak dipenuhi maka tidak akan terjadi pembakaran sempurna.

2.2.1 Pembakaran difusi

Pembakaran merupakan proses termodinamika karena dalam pembakaran terjadi pergerakan massa atau aliran gas. Pembakaran digolongkan menjadi dua kelompok, yaitu pembakaran premixed dan pembakaran difusi. Pembakaran premixed adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara dicampur dahulu secara mekanik kemudian dibakar. Contohnya yaitu dalam proses pembakaran motor bensin dan pembakaran roket. Pembakaran difusi adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara tidak dicampur secara mekanik melainkan bercampur secara alami dengan proses difusi. Jika pencampuran bahan bakar dan udara dengan proses difusi ini mencapai kondisi mendekati stoikiometri dan temperatur sudah cukup maka pembakaran akan berlangsung. Proses pembakaran difusi sederhana dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

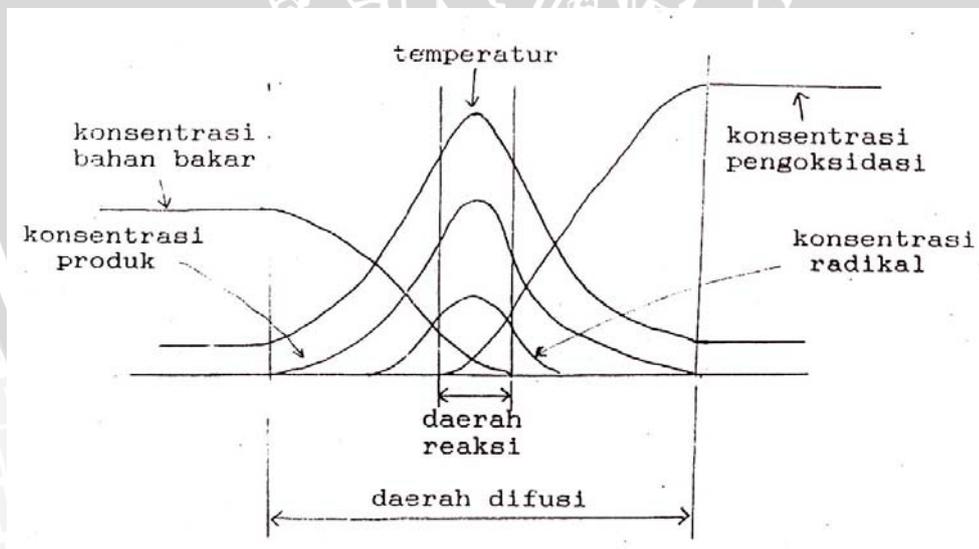


Gambar 2.2 : Pembakaran difusi sederhana

Sumber : I.N.G. Wardana, 1995:50

Pada saluran sebelah kanan mengalir pengoksidasi (udara) sedangkan sisi saluran sebelah kiri mengalir bahan bakar. Bidang pembatas antara bahan bakar dan udara setelah keluar saluran merupakan bidang difusi dimana api terbentuk.

Jika tebal api yang terbentuk didaerah reaksi diperbesar maka distribusi konsentrasi bahan bakar dan pengoksidasi, distribusi temperature dan distribusi radikal bias terlihat pada gambar 2.2

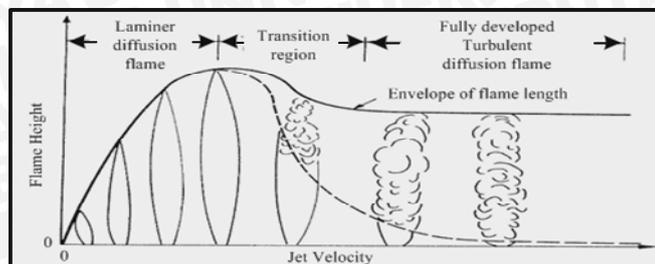


Gambar 2.3 : struktur api difusi

Sumber : I.N.G. Wardana, 1995:51

Salah satu jenis api dari pembakaran difusi adalah api difusi. Api difusi adalah api yang terjadi karena aliran bahan bakar dari nosel kedalam aliran udara pada burner. Nyala api difusi terdiri dari api difusi turbulen. Perubahan aliran api ini biasanya disebabkan oleh pemanjangan api dan peningkatan kecepatan aliran

bahan bakar. Karena kecepatan bahan bakar meningkat, karakter api akan berubah, pada kecepatan bahan bakar yang rendah struktur api adalah laminer. Hal ini dapat diilustrasikan pada gambar 2.2 dibawah ini



Gambar 2.4 : Perubahan aliran dan struktur api

Sumber : Kuo, 1986: 359

Panjang api laminer ini akan meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan bahan bakarnya sampai suatu batas dimana aliran api akan menjadi turbulen. Pada kondisi transisi perubahan dari aliran laminer menjadi turbulen, panjang api laminer akan mengalami penurunan seiring dengan peningkatan kecepatan bahan bakar dan panjang api turbulen akan mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan kecepatan bahan bakar.

2.3 Atomisasi

Atomisasi adalah proses pemecahan fluida cair menjadi butiran-butiran kecil (*droplet*). Proses atomisasi menghasilkan aliran fluida cair dalam bentuk *spray* (semprotan). Atomisasi fluida cair dapat dilakukan dengan cara mengalirkan fluida bertekanan tinggi melewati nosel. Karakteristik atomisasi dipengaruhi oleh tiga bilangan tak berdimensi :Rej, Wej, Oh. Bilangan Reynolds merupakan parameter tak berdimensi yang menunjukkan perbandingan antara gaya inersia terhadap gaya viskos dari suatu fluida. Bilangan weber merupakan parameter tak berdimensi yang menyatakan perbandingan antara gaya dinamik terhadap gaya tegangan permukaan suatu fluida.

1. *Jet Reynold number* : $Re_j = \left(\frac{\rho V}{\mu} \right)_l d_j$

2. *Jet weber number* : $We_j = \left(\frac{\rho_g V_j^2 d_j}{\sigma} \right)$

3. Ohnesorge number : $Oh = \frac{\mu_l}{\sqrt{\rho_l \sigma d_j}}$

Dimana :

ρ = Densitas fluida (kg/m^3)

V = Kecepatan fluida (m/s)

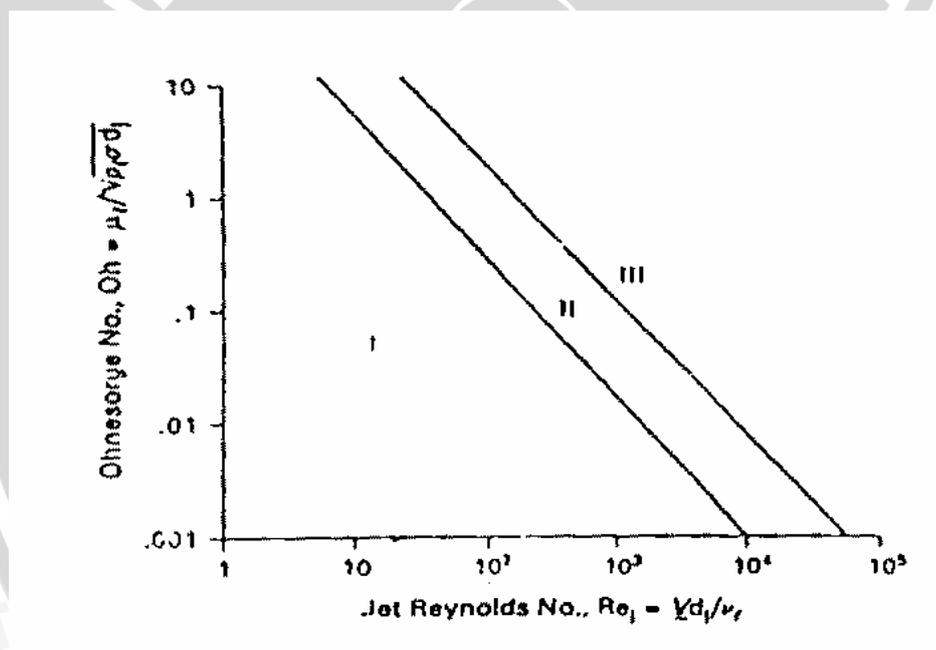
μ = Viskositas dinamik (Ns/m^2)

d = Diameter (m)

σ = Tegangan permukaan (N/m^2)

Subskrip l, g dan j menyatakan *liquid*, *gas* dan *jet*.

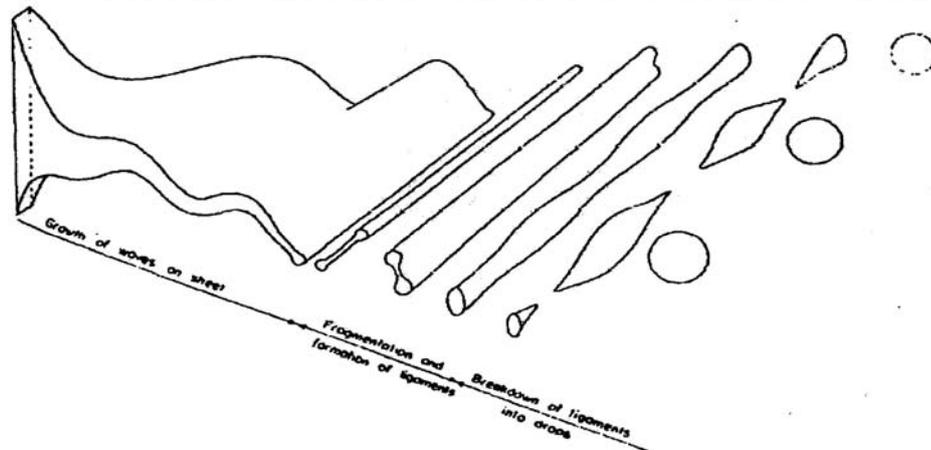
Tingkat atomisasi pada nosel digambarkan dengan grafik hubungan log Oh dengan log Re_j dibagi menjadi tiga zona. Tingkat atomisasi diplot pada grafik Log Oh Vs Log Re_j yang ditunjukkan pada gambar 2.4 dibawah ini :



Gambar 2.5 : Tingkat atomisasi pada nosel

Sumber : Borman, 1998 : 292.

Dari grafik diatas, terlihat bahwa proses pembentukan *spray* dibagi menjadi tiga daerah pada grafik log Oh Vs log Re_j. Pada daerah I pembentukan droplet dipengaruhi oleh efek tegangan permukaan pada jet. *Break up* pada daerah II disebabkan oleh pengaruh udara luar. Dalam daerah III mekanisme *break up* dipengaruhi oleh kombinasi udara lingkungan dan turbulensi aliran.



Gambar 2.6 : Mekanisme pembentukan *droplet*.

Sumber: [Http://www.forms.gradsach.psu.edu/equity/sroppers/2005/delgadojorge](http://www.forms.gradsach.psu.edu/equity/sroppers/2005/delgadojorge)

2.4 Bahan Bakar

Bahan bakar adalah bahan yang bila dibakar dapat meneruskan proses pembakaran tersebut dengan sendirinya, disertai dengan pengeluaran kalor. Bahan bakar hanya dapat terbakar bila sudah cukup panas, untuk memulai reaksinya dengan oksigen (mencapai titik nyala).

Menurut asalnya bahan bakar dibagi menjadi dua golongan, yaitu bahan bakar primer (alami) dan bahan bakar sekunder. Bahan bakar primer adalah bahan bakar yang bisa langsung digunakan seperti gas alam, kayu, dan sebagainya. Sedangkan bahan bakar sekunder diperoleh dari bahan bakar primer yang telah diolah misalnya bensin, solar, minyak tanah dan sebagainya.

Bahan bakar fosil dikelompokkan menjadi tiga kelompok umum, yaitu batu bara, minyak dan gas alam. Komposisi bahan bakar fosil dan bahan bakar organik umumnya terdiri dari unsur-unsur C (karbon), H (hidrogen), O (oksigen), N (nitrogen), S (belerang), P (fosfor) dan unsur lainnya dalam jumlah kecil. Namun unsur kimia yang penting adalah C, H dan S. Yaitu unsur yang jika terbakar menghasilkan kalor. Semua bahan bakar fosil terdiri dari proses pengendapan dan pemadatan ikatan hidrat arang dalam perut bumi. Ikatan tersebut memiliki rumus kimia $C_x(H_2O)_y$ dihasilkan oleh tumbuh-tumbuhan dalam proses

fotosintesis ketika tumbuh-tumbuhan mengubah energi matahari menjadi energi kimia.

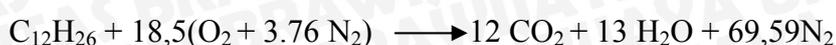
2.4.1 Bahan bakar cair

Bahan bakar cair berasal dari minyak mentah dan dari pencairan batu bara. Berdasarkan kegunaannya bahan bakar cair terbagi menjadi dua kelas, yaitu *light oil* biasanya digunakan untuk *internal combustion engine* dan *heavy oil* biasanya digunakan untuk pembakaran furnace. Kandungan utama bahan bakar cair adalah hidrokarbon. Hidrokarbon adalah senyawa yang mempunyai unsur karbon dan hidrogen. Bahan bakar cair memiliki keuntungan mudah dalam penyimpanannya, pendistribusian dan penyalaannya. Untuk proses penyalaan bahan bakar cair dibutuhkan nosel yang bertekanan agar bisa terjadi proses atomisasi atau pengkabutan. Agar terjadi pengkabutan sehingga terbentuk *droplet* yang baik maka diperlukan nosel yang bertekanan tinggi. Pengkabutan yang baik akan menghasilkan *droplet* dengan ukuran yang kecil-kecil sehingga mempunyai daerah pendifusian yang luas. Bila dipanaskan, bahan bakar cair akan menguap dan kemudian terbakar dalam bentuk gas. Pada penelitian ini kami menggunakan bahan bakar cair yaitu minyak tanah atau kerosene. Minyak tanah biasanya digunakan untuk dapur rumah tangga, bahan bakar kapal laut dan bahan bakar pada industri kecil.

2.5 Minyak Tanah

Bahan bakar minyak tanah merupakan bahan bakar hidrokarbon yang berasal dari pengolahan minyak bumi. Pengolahan ini menggunakan proses destilasi yaitu penguapan kemudian dilakukan pengembunan kembali. Berbagai macam cairan mempunyai titik didih yang berbeda-beda. Melalui proses destilasi ini berdasar titik didih yang berlainan dapat menghasilkan bensin, minyak tanah, solar, minyak pelumas dan residu. Minyak tanah mempunyai sifat khusus seperti nomor karbon dari C_{11} sampai C_{13} serta mempunyai titik didih antara $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, HHV $44\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$ serta LHV $42\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$. Untuk pembakaran minyak tanah,

AFR stoikiometri didapat dari persamaan reaksi seperti berikut



Rumus kimia	$C_{12}H_{26}$	O_2	N_2
Berat molekul	170	32	28
Massa molekul	170	592	
$1947,68 AFR = \frac{\text{massa molekul udara}}{\text{massa molekul bahan bakar}} = \frac{1947,68 + 592}{170} = 14,9393$			

Selain nilai kalor dan titik didih, sifat-sifat minyak tanah yang lainnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.1 sifat-sifat minyak tanah

Physical Properties of kerosene	
Boiling point	150°C
Melting point	-20°C
Relative density (water = 1)	0.8
Solubility in water	insoluble
Relative vapour density (air = 1)	4.5
Flash point	37-65°C
Auto-ignition temperature	220°C
Explosive limits, vol% in air	0.7-5
Viscosity	$8.0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ for at 20 °C.
Vapour pressure	0.7..1 kPa at 38 °C
HHV	46 MJ/kg
LHV	43 MJ/kg

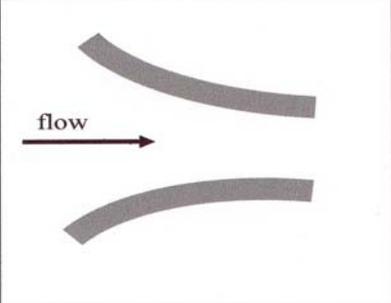
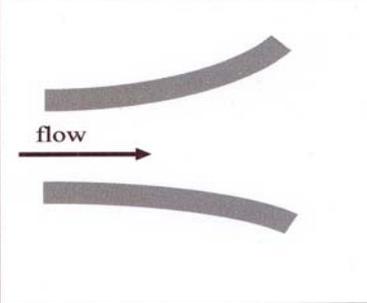
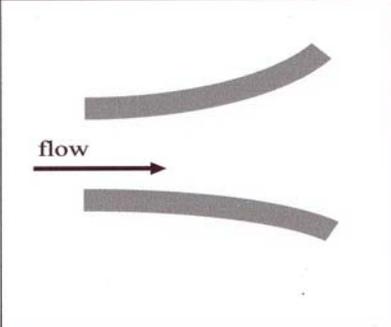
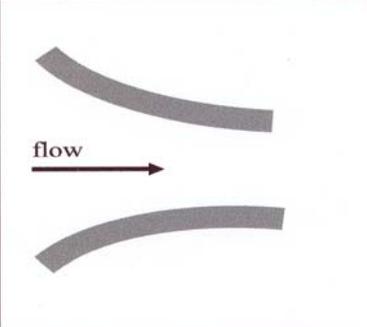
Sumber : www.hpa.org.uk/Chemicals/compendium/Kerosene/properties.htm

2.6 Nosel

Nosel adalah alat berbentuk pipa atau tabung dengan diameter masuk dan diameter keluar berbeda, yang didalamnya energi kinetik fluida yang mengalir bertambah akibat penurunan tekanan dan digunakan untuk mengarahkan atau memodifikasi aliran zat cair atau gas. Umumnya nosel digunakan untuk mengontrol rata-rata aliran, arah aliran dan mengubah tekanan menjadi kecepatan.

Nosel ada 3 macam yaitu :

1. Nosel konvergen yaitu nosel dengan diameter *inlet* lebih besar daripada diameter *outlet*. Bentuk nosel konvergen dibagi menjadi dua yaitu *contour* nosel dan *conical* nosel.
2. Nosel divergen adalah nosel dengan diameter inlet lebih kecil daripada diameter outlet, nosel divergen digunakan hanya pada aliran supersonik.
3. Nosel konvergen-divergen adalah gabungan antara nosel konvergen dan divergen dengan memiliki *throat*.

ALIRAN	NOZEL $\delta p < 0$ $\delta V > 0$	DIFUSER $\delta p > 0$ $\delta V < 0$
SUBSONIK $M < 1$		
SUPERSONIK $M > 1$		

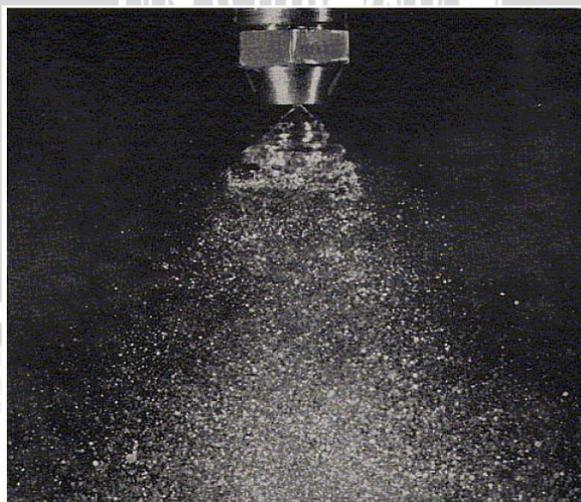
Gambar 2.7 : Perbedaan aliran antara nosel dan difuser

Sumber : Robert Fox,1985 : 598

Pada penelitian ini yang digunakan adalah nosel jenis konvergen-divergen dan nosel konvergen. Kenapa nosel divergen tidak digunakan dalam penelitian ini. Hal ini karena perubahan tekanan fluida menjadi kecepatan yang terjadi tidak sebesar pada nosel konvergen-divergen ataupun pada nosel konvergen. Selain itu aliran fluida yang terjadi antara nosel divergen juga sama dengan aliran fluida pada nosel konvergen-divergen. Dimana aliran yang terjadi adalah supersonik.

Nosel yang digunakan didalam pembakaran mempunyai karakteristik yang berbeda-beda. Nosel pada pembakaran digunakan untuk mengabutkan bahan bakar, sebelum bahan bakar tersebut dibakar. Untuk mengabutkan bahan bakar pada nosel diperlukan energi yang biasanya diberikan dalam bentuk energi tekanan. Energi tekanan ini tidak langsung memecah aliran minyak menjadi *droplet*, namun energi tersebut dirubah dahulu menjadi kecepatan. Setiap jenis nosel pembakaran mempunyai tekanan yang berbeda dan perbedaan distribusi dari droplet yang dihasilkan. Kenaikan tekanan akan menghasilkan droplet berukuran lebih kecil. Selain itu ukuran *droplet* semakin kecil apabila sudut semprot semakin lebar, viskositas bahan bakar rendah dan kecepatan aliran fluida tinggi. Aliran bahan bakar dari nosel biasanya terdistribusi dalam daerah berbentuk silinder sepanjang sumbu ruang bakar.

Dengan kenaikan tekanan menyebabkan kecepatan droplet menjadi bertambah. Kenaikan kecepatan menyebabkan penurunan tekanan pada daerah atomisasi. Karena tekanan mengalami penurunan sehingga lebih rendah dari pada udara yang mengalir pada ruang bakar, maka udara cenderung akan masuk menuju daerah pengkabutan dan udara tersebut akan bergabung dengan *droplet*. Dengan adanya fenomena diatas, maka *droplet* akan kehilangan kecepatan secara langsung dan udara akan berdifusi dengan *droplet*. Gambar atomisasi bahan bakar cair setelah keluar mulut nosel ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



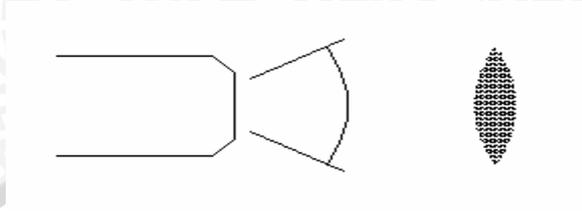
Gambar 2.8 : Atomisasi pada nosel

Sumber : *Fuel nozzle for oil burner*

Macam-macam pola semprot/spray pattern :

1. *Flat spray*

Pada pola penyemprotan ini *droplet* keluar dari nosel terdistribusi dalam bentuk seperti lembaran yang penampangnya berupa elips / oval.

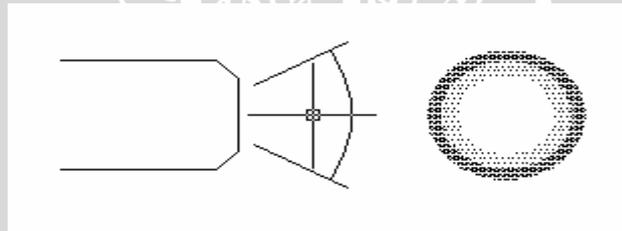


Gambar 2.9 : *Flat spray*.

Sumber : [Http//www.Delavan.co.uk/pdfs/zNozzleTechnology.pdf](http://www.Delavan.co.uk/pdfs/zNozzleTechnology.pdf).

2. *Hollow cone spray*

Pola semprotan dengan *droplet* terdistribusi dalam bentuk kerucut dan *droplet* terkonsentrasi pada sisi luar sedangkan pada sisi tengah hanya sedikit atau bahkan tidak ada sama sekali.

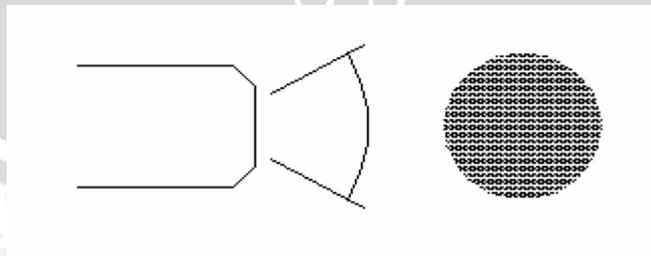


Gambar 2.10 : *Hollow cone spray*.

Sumber : [Http//www.Delavan.co.uk/pdfs/zNozzleTechnology.pdf](http://www.Delavan.co.uk/pdfs/zNozzleTechnology.pdf)

3. *Solid cone spray*.

Pola semprotan dengan *droplet* terdistribusi dalam bentuk kerucut dan *droplet* terdistribusi secara merata pada seluruh luasan sudut semprot.

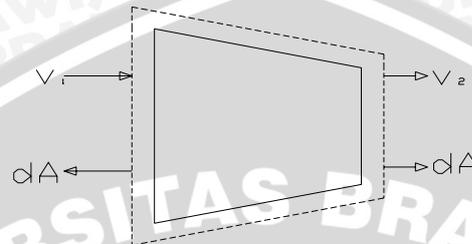


Gambar 2.11 : *Solid cone spray*.

Sumber : [Http//www.Delavan.co.uk/pdfs/zNozzleTechnology.pdf](http://www.Delavan.co.uk/pdfs/zNozzleTechnology.pdf).

2.6.1 persamaan analisa fluida yang melalui nosel.

Laju aliran massa dan kecepatan rata-rata pada sisi masuk dan keluar nosel dapat dihitung dengan menggunakan analisa kontrol volume. Gambar 2.11 dibawah ini menunjukkan aliran fluida pada kontrol volume berbentuk nosel :



Gambar 2.12 : Aliran fluida pada kontrol volume berbentuk nosel

Sumber : J.P.Holman. 1988:243

Persamaan konversi massa untuk aliran fluida *incompressible, steady* :

$$\rho \int v dA = 0 \quad (\text{Potter, Marley.C,1997:126})$$

Untuk fluida melewati nosel seperti pada gambar 2.11, maka persamaan menjadi :

$$-\rho v_1 A_1 + \rho v_2 A_2 = 0$$

Atau

$$|\rho v_1 A_1| = |\rho v_2 A_2| \quad (\text{Potter, Marley.C,1997:149})$$

$$\dot{m} = |\rho v A| \text{ sehingga berlaku } \dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

Dimana :

ρ = densitas fluida (kg/m³)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

dA = vektor normal pada suatu elemen permukaan kontrol *surface* (m²)

\dot{m} = laju aliran massa tiap satuan waktu (kg/s)

Persamaan momentum aliran fluida *incompressible, steady*

$$F = \int_{cs} v \rho v dA$$

Untuk aliran fluida melewati nosel, maka persamaan diatas menjadi :

$$F = -|v_1 \rho v_1 A_1| + |v_2 \rho v_2 A_2| \quad (\text{Potter, Marley.C,1997:149})$$



Dengan

$$\dot{m} = \rho v A \text{ maka :}$$

$$F = -|v_1 \dot{m}_1| + |v_2 \dot{m}_2| \quad (\text{Potter, Marley.C,1997:149})$$

Untuk aliran fluida melewati nosel, bola tidak ada kerugian energi maka persamaan energinya memenuhi persamaan bernouli. Tetapi pada kenyataannya kerugian energi terjadi karena adanya gesekan antara partikel fluida dan adanya gesekan antara fluida dan dindingnosel. Besarnya efisiensi pada nosel dapat dihitung dengan persentase perbandingan antara energi kecepatan fluida keluar nosel dengan energi total fluida yang masuk nosel. Adapun rumus efisiensi nosel dapat ditulis sebagai berikut.

$$\eta = \frac{E_k}{E_t} \times 100\%$$

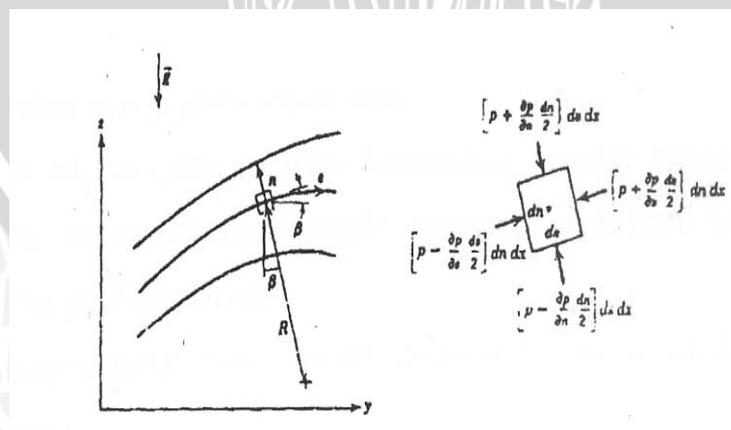
Dimana : η = efisiensi nosel

$$E_k = \left(\frac{V_2^2}{2g} \right) = \text{Energi kecepatan fluida keluar nosel (m)}$$

$$E_t = \frac{P_1}{\rho g} + \left(\frac{V_1^2}{2g} \right) + z_1 = \text{Energi total fluida masuk nosel (m)}$$

2.6.2 Persamaan bernouli

Aliran suatu zat cair *incompressible* melalui penampang saluran (pipa) fluida mempunyai aliran statis, kecepatan dan ketinggian (z) yang diukur dari bidang referensi.



$$\sum F = m.a_s \text{ disepanjang garis arus adalah } -\frac{\partial p}{\partial s} - \rho g \sin \beta = \rho a_s$$

Karena $\sin \theta = \frac{\partial z}{\partial s}$ maka persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi

$$-\frac{\partial p}{\partial s} - \rho g \frac{\partial z}{\partial s} = \rho a_s \quad (\text{Potter, Marley.C,1997:101})$$

Jika kecepatan V merupakan fungsi terhadap letak dan waktu maka $V = V(s,t)$

$$dV = \frac{\partial V}{\partial s} ds + \frac{\partial V}{\partial t} dt$$

Karena kecepatan disepanjang garis aris maak:

$$V = \frac{ds}{dt} \text{ dan } a_s = -\frac{\partial V}{\partial t} = V \frac{\partial V}{\partial s} + \frac{\partial V}{\partial t} \quad (\text{Potter, Marley.C,1997:102})$$

Dapat disederhanakan menjadi persamaan euler :

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} - g \frac{\partial z}{\partial s} = \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial s}$$

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \vec{V} \frac{\partial \vec{V}}{\partial s} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} + g \frac{\partial z}{\partial s} = 0 \quad (\text{Potter, Marley.C,1997:102})$$

Persamaan ini disebut persamaan Euler untuk gerak sepanjang garis arus untuk fluida ideal (tidak viskos). Untuk persamaan Euler aliran *steady* dan *incompressible* jika diintegrasikan sepanjang arus (*streamline*) maka didapat persamaan bernouli (Potter, Marley.C,1997:125)

27 Hipotesa

Nosel konvergen-divergen merupakan gabungan dari nosel konvergen dan nosel divergen. Pada nosel konvergen bahan bakar akan keluar secara langsung, sedangkan pada nosel konvergen-divergen bahan bakar keluar lebih terarah. Sehingga dengan debit bahan bakar dan debit udara yang sama, pola aliran bahan bakar nosel konvergen-divergen lebih tinggi tetapi lebarnya lebih kecil dibandingkan nosel konvergen. Dengan pola aliran seperti itu maka karakteristik api yang terjadi juga akan sama dengan pola aliran.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *experimental*. Pada penelitian ini dilakukan pengamatan secara langsung untuk mengetahui hubungan atau pengaruh dari sebab akibat suatu perlakuan tertentu. Obyek yang akan diamati pada penelitian ini adalah pengaruh bentuk nosel konvergen-divergen dan nosel konvergen terhadap pola aliran bahan bakar dan bentuk nyala api.

3.2 Variabel yang Diukur

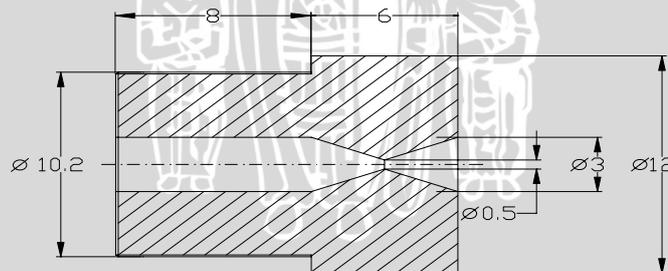
Pada penelitian ini ada dua variabel yang akan diukur yaitu :

1. Variabel bebas

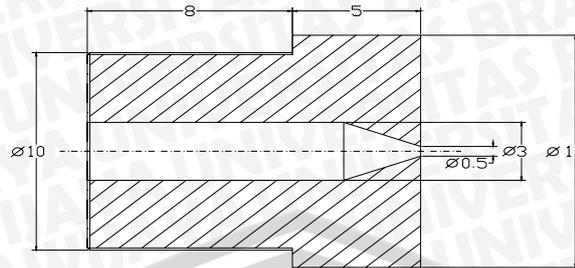
Variabel bebas adalah variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Besarnya variabel bebas bisa diubah-ubah atau konstan, sehingga didapat hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat.

Pada penelitian ini variabel bebasnya adalah

- nosel konvergen-divergen dengan diameter throat 0.5mm dan nosel konvergen dengan diameter outlet 0.5 mm.



Gambar 3.1 : Nosel konvergen-divergen dengan diameter *throa*t 0.5 mm.



Gambar 3.2 : Nosel konvergen dengan diameter *outlet* 0.5 mm.

- debit bahan bakar.
- debit udara.

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah dilakukan penelitian.

Pada penelitian ini variabel terikatnya adalah pola aliran dan bentuk nyala api.

3.3 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fluida Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Pada bulan April.

3.4 Alat-alat Penelitian

1. Kompresor

Kompresor digunakan untuk memberikan tekanan didalam tangki bahan bakar sesuai dengan tekanan yang diinginkan, dengan spesifikasi :

Tipe : C-FC1-24 HP 0,5 LAKONI 125X

Motor :

Putaran :

Kapasitas :

Tekanan : 240 PSI

2. Tangki bahan bakar

Tangki bahan bakar ini digunakan untuk menampung bahan bakar dengan kapasitas lima liter. Tangki ini akan dihubungkan dengan kompresor untuk

memberikan tekanan dalam tangki agar fluida minyak tanah dapat mengalir menuju nosel.

3. Manometer

Manometer digunakan untuk mengukur beda tekanan pada *orifice* saluran udara dan bahan bakar untuk mengetahui debit udara dari blower dan debit bahan bakar minyak tanah.

4. Nosel

Nosel digunakan untuk menyembrotkan bahan bakar dan mendistribusikan bahan bakar ke ruang bakar.

5. Blower

Penggunaan blower disini adalah untuk menyuplai udara ke ruang bakar agar berdifusi dengan bahan bakar. Blower yang digunakan adalah tipe sentrifugal dengan spesifikasi :

- a. Model : *electric blower*
- b. Ukuran : 2"
- c. Tegangan : 220 V
- d. Arus : 1 A
- e. Putaran : 3600 rpm

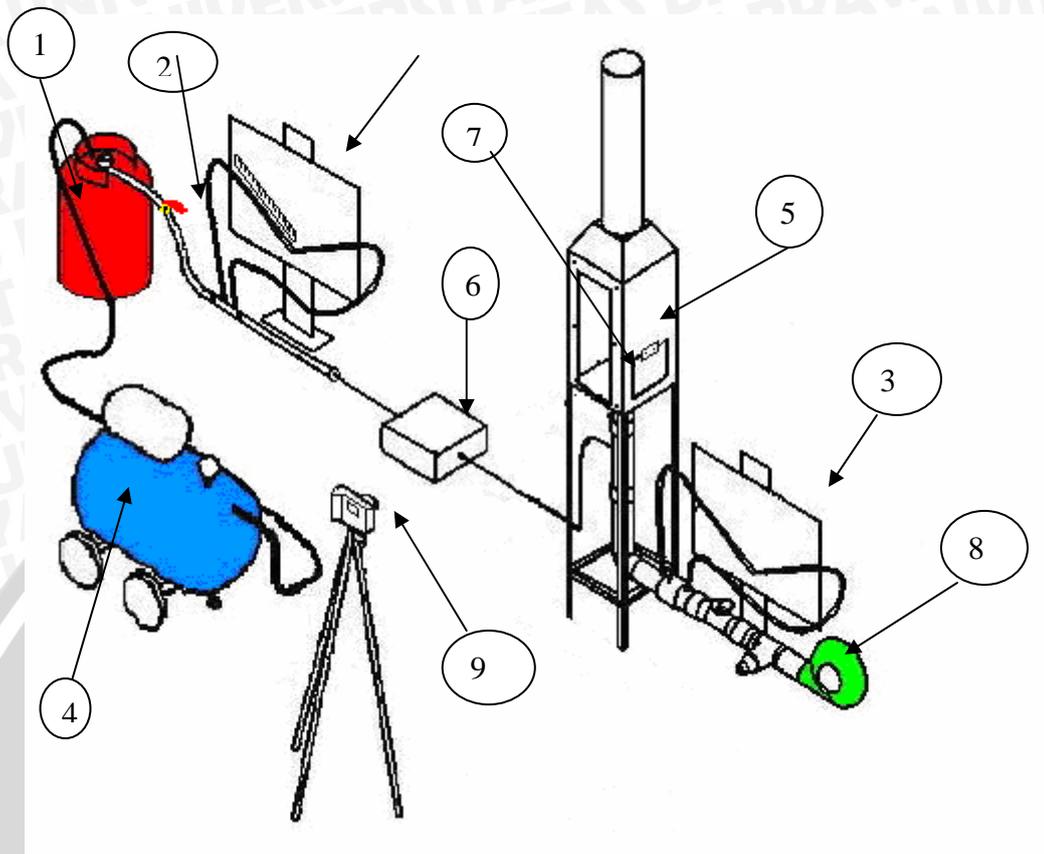
6. Kamera

Kamera ini digunakan untuk mengambil gambar pola aliran dan bentuk nyala api.

7. Pemanas bahan bakar

Pemanas bahan bakar digunakan untuk memanaskan bahan bakar sebelum melalui nosel sehingga bahan bakar bisa mengabut.

➤ Instalasi Alat Penelitian



Gambar 3.4 Instalasi penelitian

Keterangan :

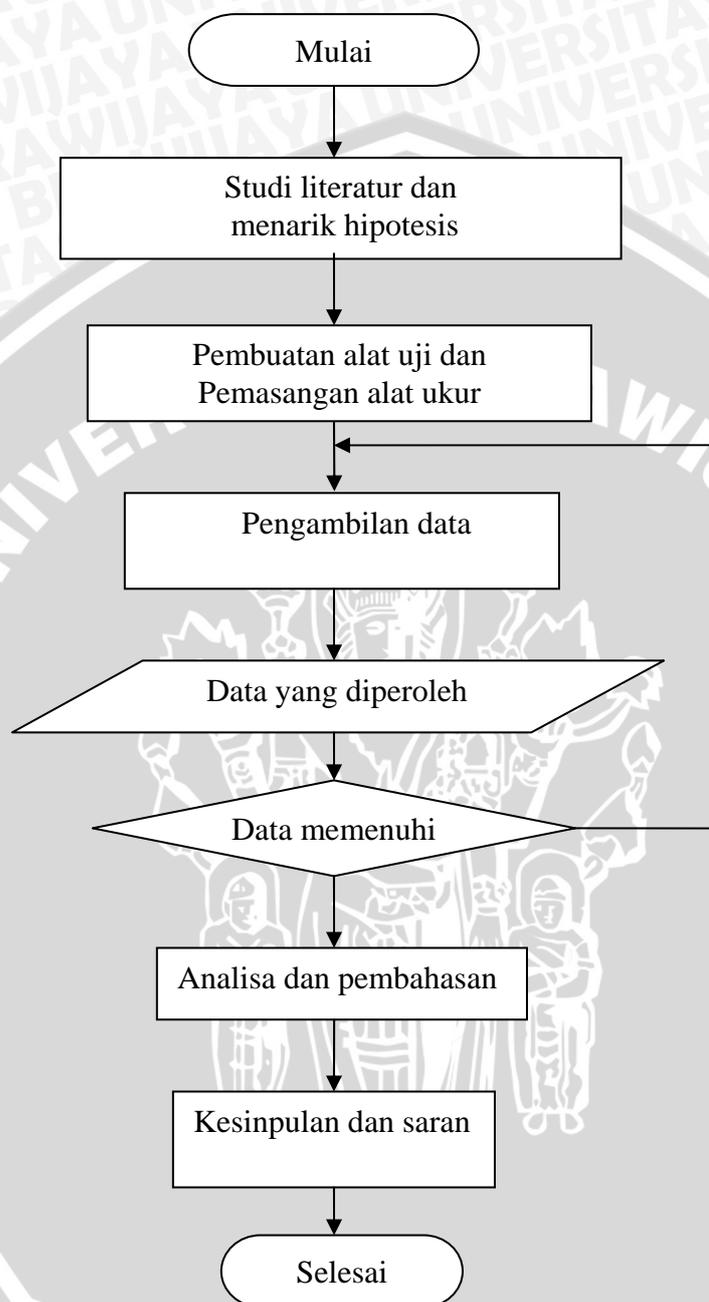
1. Tabung bahan bakar
2. Katup bahan bakar
3. Manometer
4. Kompresor
5. Ruang bakar
6. Pamanas bahan bakar
7. Nosel
8. Blower
9. *Handycam*

➤ **Prosedur Pengambilan Data**

Untuk mendapatkan data distribusi temperatur, maka dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

- i. Mempersiapkan peralatan yang diperlukan dalam penelitian dan menyusun dalam instalasi seperti pada gambar diatas.
- ii. Memasang nosel konvergen ke saluran bahan bakar dalam ruang bakar.
- iii. Mengatur bukaan penutup blower hingga debitnya sebesar $7.715 \times 10^{-4} m^3 / s$
- iv. Mengatur bukaan katup bahan bakar hingga didapatkan debit sebesar $2.115 \times 10^{-7} m^3 / s$
- v. Melakukan pemanasan awal bahan bakar pada saluran bahan bakar agar bahan bakar yang keluar dari nosel bisa mengabut.
- vi. menyalakan api pada kondisi bahan bakar sudah bisa mengabut.
- vii. Mengambil gambar pola aliran dan bentuk nyala api pada posisi yang telah ditentukan.
- viii. Mengulangi langkah no 5 sampai no 7, untuk debit bahan bakar sebesar $2.993 \times 10^{-7} m^3 / s$
- ix. Mengulangi langkah no 4 sampai no 9 untuk debit udara sebesar $1.090 \times 10^{-3} m^3 / s$ dan $1.335 \times 10^{-3} m^3 / s$
- x. mengulangi langkah no 2 sampai no 9 untuk nosel konvergen-divergen dengan diameter throat 0.5 mm.

3.8 Rancangan Penelitian



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Data yang diperoleh dari penelitian ini berupa bentuk pola aliran bahan bakar dan bentuk nyala api yang diambil dengan *handycam*. Data tersebut digunakan untuk membandingkan karakteristik bentuk pola aliran bahan bakar dan bentuk nyala api pada nosel konvergen-divergen dengan diameter *throat* 0.005 m dan nosel konvergen dengan diameter *outlet* 0.005 m sebagai variabel bebas. Sedangkan debit bahan bakar dan debit udara sebagai variabel terkontrol. Pada penelitian ini pengambilan data diulang sebanyak 3 kali untuk memastikan bahwa data yang diambil dari setiap penelitian mempunyai kecenderungan yang sama. Dari setiap data tersebut diperoleh bentuk pola aliran bahan bakar dan bentuk nyala api yang kemudian diamati perbedaan antar keduanya.

4.2 Perhitungan Data

4.2.1 Perhitungan nilai konstanta kalibrasi manometer bahan bakar

Debit bahan bakar diukur dengan menggunakan orifis dan manometer V. Untuk menghitung debit dari bahan bakar maka perlu mencari perhitungan konstanta kalibrasi (C). "C" adalah perbandingan antara debit bahan bakar secara aktual dengan debit bahan bakar ideal. Debit bahan bakar aktual didapat dengan menampung banyaknya volume bahan bakar yang mengalir tiap satuan waktu pengukuran dilakukan saat kalibrasi manometer bahan bakar. Sedangkan debit bahan bakar ideal dapat dihitung dengan data yang sudah diketahui sebagai berikut :

Massa jenis minyak tanah (ρ_{bb})	= 835 kg/m ³
Massa jenis air manometer (ρ_m)	= 1000 kg/m ³
Diameter saluran bahan bakar (d_1)	= 7 mm = 0,007 m
Diameter dalam orifis (d_2)	= 3,2 mm = 0,0032 m
Beda ketinggian yang ditunjukkan manometer (Δh)	= 2 mm = 0,002 m
Percepatan gravitasi (g)	= 9,81 m/s ²
Perhitungan :	

- Rasio diameter orifis dengan saluran bahan bakar :

$$\beta = d_2/d_1 = 3,2/7 = 0,457$$

- Kecepatan aliran bahan bakar ideal pada orifis

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot (\rho_m \cdot g \cdot \Delta h)}{(\rho_{bb} \cdot (1 - \beta^4))}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot (1000 \cdot 9.81 \cdot 0,002)}{(835 \cdot (1 - 0.457^4))}}$$

$$= 0,222 \text{ m/s} = 222 \text{ mm/s}$$

- Kecepatan aliran bahan bakar ideal pada saluran

$$V_1 = \beta^2 V_2$$

$$= 0,457^2 \cdot 222 \text{ mm/s}$$

$$= 46,364 \text{ mm/s}$$

- Luas penampang saluran udara

$$A = \frac{1}{4} \pi d_1^2$$

$$= \frac{1}{4} \pi 0,007^2$$

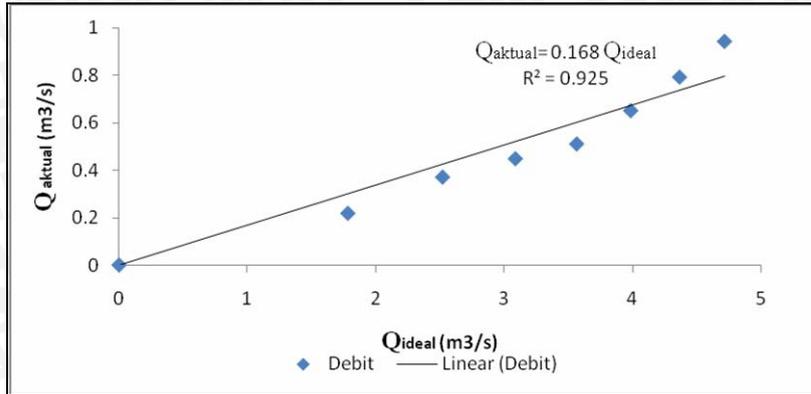
$$= 3,85 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 = 38,5 \text{ mm}^2$$

- Debit bahan bakar ideal

$$Q_{\text{ideal}} = V \cdot A$$

$$= 46,364 \cdot 38,5 = 1785,032 \text{ mm}^3/\text{s} = 1,78032 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Debit bahan bakar ideal dan debit bahan bakar aktual yang diperoleh selama kalibrasi dapat dilihat pada table lampiran Nilai tersebut kemudian dibuat grafik, dengan debit bahan bakar ideal sebagai absis dan debit bahan bakar ideal sebagai ordinat. Dari grafik dicari gradientnya, gradient tersebut merupakan nilai dari konstanta kalibrasi (C). Grafik dibawah ini merupakan hubungan antara debit bahan bakar ideal dan aktual. Dari Grafik didapatkan nilai konstanta kalibrasi (C) sebesar 0,168.



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara debit bahan bakar ideal dan debit bahan bakar aktual.

4.2.2 Perhitungan nilai konstanta kalibrasi manometer udara

Debit udara diukur menggunakan orifis dan manometer miring. Untuk menghitung debit udara maka perlu mencari konstanta kalibrasi (C). C adalah perbandingan antara debit udara aktual (Q_{aktual}) dengan debit udara ideal (Q_{ideal}).

Debit udara ideal dihitung dengan data yang diketahui sebagai berikut :

Dengan mengambil contoh saat beda ketinggian manometer udara 0,005 m. Data yang diketahui :

- Massa jenis udara (ρ_{ud}) = 1,29 kg/m³
- Diameter saluran udara (d_1) = 0,027 m
- Diameter orifis (d_2) = 0,012 m
- Beda ketinggian manometer pada manometer orifis (Δh) = 0,005 m

Contoh perhitungan :

- Rasio diameter orifis dengan saluran bahan bakar :
 $\beta = d_2/d_1 = 0,012/0,0277 = 0,44$
- Kecepatan aliran udara ideal pada manometer orifis (V_2)

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot (\rho_m \cdot g \cdot \Delta h)}{(\rho_{ud} \cdot (1 - \beta^4))}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot (835 \cdot 9.81 \cdot 0,005)}{(1,29 \cdot (1 - 0,44^4))}}$$

$$= 8,122 \text{ m/s}$$

- Kecepatan aliran udara ideal pada saluran (V_1)

$$V_1 = \beta^2 \cdot V_2$$

$$= 0,44^2 \cdot 8,122$$

$$= 1,572 \text{ m/s}$$

- Luas penampang saluran udara

$$A = \frac{1}{4} \pi d_1^2$$

$$= \frac{1}{4} \pi 0,027^2$$

$$= 0,00057 \text{ m}^2$$

- Debit udara ideal (Q_{ideal})

$$Q_{\text{ideal}} = V_1 \cdot A$$

$$= 1,572 \text{ m/s} \cdot 0,00057 \text{ m}^2$$

$$= 0,000896 \text{ m}^3/\text{s}$$

Debit udara aktual diperoleh dengan mengukur kecepatan menggunakan *pitot tube*. Pengukuran kecepatan udara menggunakan *pitot tube* diukur pada tiga titik, mulai dari tengah saluran sampai ketepi. Dari pengukuran tersebut mula-mula didapatkan data berupa beda ketinggian (Δh) pada manometer *pitot tube*, kemudian data tersebut dikonversikan menjadi kecepatan menggunakan rumus dibawah ini. Dari ketiga kecepatan tersebut kemudian dirata-rata untuk mendapatkan kecepatan rata-rata pada saluran. Dari kecepatan rata-rata ini maka akan didapatkan debit udara.

- Kecepatan udara aktual pada *pitot tube* dapat dihitung dengan persamaan

$$\Delta h_1 = 0,0000508 \text{ m}$$

$$V_{\text{aktual1}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (\rho_{bb} \cdot g \cdot \Delta h_1)}{\rho_{ud}}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 0,0000508)}{1,29}}$$

$$= 0,879 \text{ m/s}$$

Dengan menggunakan persamaan seperti diatas maka didapatkan

$$\Delta h_2 = 0,0000254 \text{ m}$$

$$V_{\text{aktual2}} = 0,622 \text{ m/s}$$

$$\Delta h_3 = 0,0000127 \text{ m}$$

$$V_{\text{aktual3}} = 0,439 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{aktual rata-rata}} = (V_{\text{aktual1}} + V_{\text{aktual2}} + V_{\text{aktual3}}) / 3$$

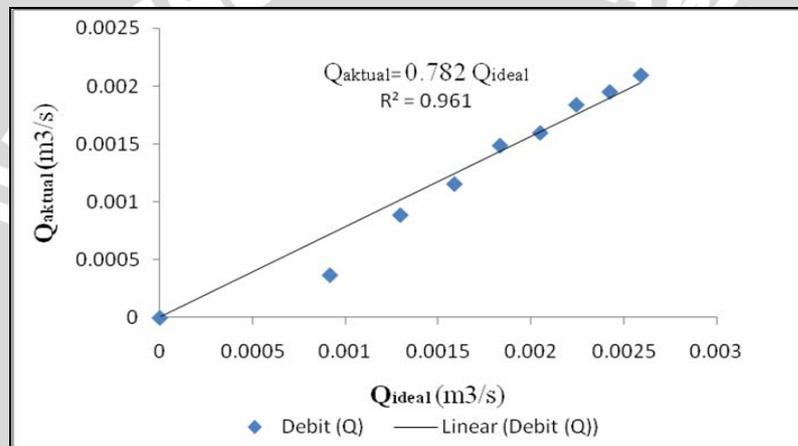
$$= (0,879 \text{ m/s} + 0,622 \text{ m/s} + 0,439 \text{ m/s}) / 3 = 0,647 \text{ m/s}$$

- Debit udara aktual

$$Q_{\text{aktual}} = V_{\text{aktual}} \cdot A$$

$$= 0,671 \text{ m/s} \cdot 0,00057 \text{ m}^2 = 0,000383 \text{ m}^3/\text{s}$$

Debit udara aktual dan ideal yang diperoleh selama kalibrasi dapat dilihat pada lampiran 1. Untuk menghitung nilai konstanta kalibrasi (C) dibuat grafik hubungan linear antara nilai debit udara ideal dan aktual. Dari grafik tersebut didapatkan nilai gradient yang menyatakan nilai konstanta kalibrasi (C). Grafik hubungan debit udara ideal dan aktual dapat dilihat pada gambar dibawah ini. Dari grafik didapatkan nilai konstanta kalibrasi manometer saluran udara (C) sebesar 0,782.



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara debit udara ideal dan debit udara aktual.

4.2.3 Perhitungan debit bahan bakar

Debit bahan bakar diukur dengan menggunakan orifis dan manometer V

Data yang diketahui sebagai berikut :

Massa jenis minyak tanah (ρ_{bb})	= 835 kg/m ³
Massa jenis air manometer (ρ_m)	= 1000 kg/m ³
Diameter saluran bahan bakar (d_1)	= 7 mm = 0,007 m
Diameter dalam orifis (d_2)	= 3,2 mm = 0,0032 m
Beda ketinggian yang ditunjukkan manometer (Δh)	= 1 mm = 0,001 m
Percepatan gravitasi (g)	= 9,81 m/s ²

Perhitungan :

- Rasio diameter orifis dan diameter saluran :

$$\beta = d_2/d_1 = 3,2/7 = 0,457$$

- Debit bahan bakar dalam saluran bahan bakar

$$\begin{aligned}
 Q &= C \cdot \beta^2 \cdot V \cdot A \\
 &= C \sqrt{\frac{2 \cdot (\rho_m \cdot g \cdot \Delta h)}{(\rho_{bb} \cdot (1 - \beta^4))}} \cdot \frac{1}{4} \pi d_1^2 \\
 &= 0,168 \cdot 0,457^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (1000 \cdot 9,81 \cdot 0,001)}{(835 \cdot (1 - 0,457^4))}} \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,007^2 \\
 &= 2,115 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

4.2.4 Perhitungan debit udara

Massa jenis udara (ρ_{ud})	= 1,29 kg/m ³
Diameter saluran udara (d_1)	= 0,027 m
Diameter orifis (d_2)	= 0,012 m
Beda ketinggian manometer pada manometer orifis (Δh)	= 0,005 m
Beda ketinggian manometer pada <i>pitot tube</i> (Δh)	= 0,000203m

Contoh perhitungan :

- Rasio diameter orifis dengan saluran bahan bakar :

$$\beta = d_2/d_1 = 0,012/0,0277 = 0,44$$

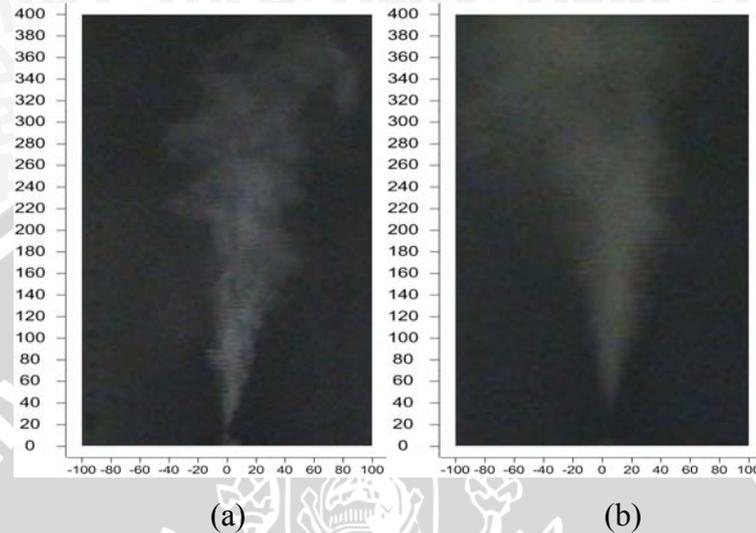
- Debit udara dalam saluran udara

$$\begin{aligned}
 Q &= C \cdot \beta^2 \cdot V \cdot A \\
 &= C \cdot \beta^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (\rho_m \cdot g \cdot \Delta h)}{(\rho_{bb} \cdot (1 - \beta^4))}} \cdot \frac{1}{4} \pi d_1^2 \\
 &= 0,782 \cdot 0,44^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (835 \cdot 9,81 \cdot 0,006)}{(1,29 \cdot (1 - 0,44^4))}} \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,027^2 \\
 &= 7,715 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

4.3. Pembahasan

4.3.1 Visualisasi pola aliran bahan bakar

- a. Perbandingan bentuk pola aliran bahan bakar untuk nosel konvergen-divergen dengan nosel konvergen



Gambar 4.3: pola aliran bahan bakar pada nosel konvergen-divergen dan nosel konvergen dengan debit bahan bakar $2.993 \times 10^{-7} m^3 / s$ dan debit udara $7.715 \times 10^{-4} m^3 / s$

- (a) nosel konvergen-divergen
(b) nosel konvergen

Pada gambar 4.3 adalah perbedaan visualisasi pola aliran bahan bakar pada nosel konvergen-divergen dan nosel konvergen dengan debit bahan bakar $2.993 \times 10^{-7} m^3 / s$ dan debit udara $7.715 \times 10^{-3} m^3 / s$. Perbedaan itu dapat dilihat dari ukuran pola aliran bahan bakar dan kepekatan bahan bakar. Dilihat dari segi ukuran pola aliran bahan bakar, nosel konvergen-divergen mempunyai panjang yang relatif lebih tinggi. Sedangkan nosel konvergen mempunyai lebar yang lebih luas dibandingkan nosel konvergen-divergen. Selain dari segi ukuran perbedaan juga terlihat dari kepekatan pola aliran yang terjadi. Dimana pada nosel konvergen-divergen kepekatan pola aliran cenderung terjadi ditengah. Sedangkan pada nosel konvergen kepekatan pola aliran bahan bakar lebih menyebar. Selain itu perbedaan juga dapat dilihat bahwa pada nosel konvergen-divergen pola aliran bahan bakar cenderung menempel pada sisi *outlet* nosel. Sedangkan pada nosel konvergen pola aliran bahan bakar terjadi diatas sisi *outlet* dari nosel.

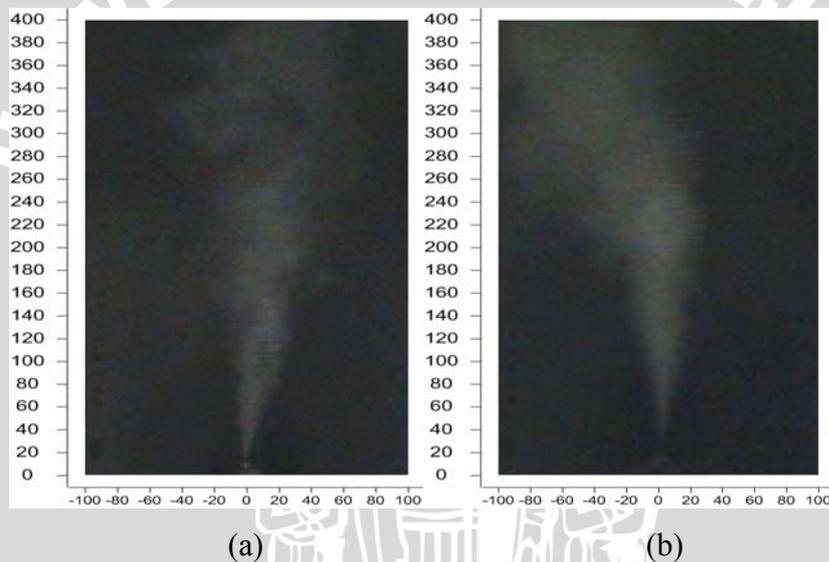
Dari ukuran pola aliran bahan bakar terlihat bahwa nosel konvergen-divergen mempunyai panjang yang relatif lebih tinggi dibandingkan pada nosel konvergen. Sedangkan bila dilihat dari ukuran lebar nosel konvergen cenderung mempunyai lebar yang lebih besar dibandingkan nosel konvergen-divergen. Hal ini dapat terjadi karena pada nosel konvergen-divergen mempunyai sisi divergen. Dimana pada sisi divergen ini berfungsi mengarahkan bahan bakar yang akan keluar nosel. Dengan adanya pengarah ini bahan bakar yang keluar nosel akan cenderung lebih mengarah keatas. Sehingga pola aliran bahan bakar yang terjadi cenderung lebih tinggi. Sedangkan dari ukuran lebar, nosel konvergen mempunyai lebar yang lebih besar dari nosel konvergen-divergen. Hal ini terjadi karena pada nosel konvergen tidak ada pengarah, sehingga bahan bakar yang keluar dari nosel konvergen cenderung akan lebih menyebar, inilah yang membuat nosel konvergen mempunyai lebar yang lebih besar dari pada nosel konvergen-divergen.

Ditinjau dari kepekatan pola aliran bahan bakar yang terjadi, nosel konvergen-divergen mempunyai kepekatan pola aliran bahan bakar yang terkonsentrasi ditengah. Sedangkan pada nosel konvergen kepekatan pola aliran bahan bakar cenderung lebih menyebar. Ini dikarenakan pada nosel konvergen-divergen mempunyai ukuran lebar pola aliran yang lebih sempit dibandingkan nosel konvergen. Sehingga kepekatan bahan bakar terkonsentrasi ditengah. Sedangkan pada nosel konvergen mempunyai ukuran lebar pola aliran yang lebih besar dibandingkan nosel konvergen-divergen. Sehingga kepekatan bahan bakar akan cenderung menyebar mengikuti bentuk pola aliran yang terjadi.

Pada nosel konvergen-divergen terlihat bahwa pola aliran bahan bakar lebih tinggi tapi mempunyai lebar yang lebih sempit dari nosel konvergen. Hal ini dapat terjadi karena pada nosel konvergen-divergen, sisi divergen dari nosel tersebut berfungsi untuk mengarahkan bahan bakar setelah bahan bakar keluar nosel. Sedangkan pada nosel konvergen bahan bakar akan keluar secara langsung tanpa adanya sisi pengarah, sehingga pola aliran pada nosel konvergen terlihat lebih lebar tapi mempunyai tinggi yang kecil.

Selain perbedaan panjang dan lebar pola aliran dari kedua nosel tersebut dapat dilihat juga, bahwa pada nosel konvergen-divergen pola aliran bahan bakar cenderung menempel pada mulut nosel. Sedangkan pada nosel konvergen pola

aliran bahan bakar terlihat cenderung berada diatas mulut nosel. Ini disebabkan karena pada nosel konvergen mempunyai sisi *outlet* yang lebih kecil dibandingkan sisi *outlet* pada nosel konvergen-divergen. Dengan semakin kecil luas penampang pada sisi *outlet* kecepatan aliran yang terjadi juga akan semakin besar, lebih besar dari nosel konvergen-divergen. Dengan semakin tinggi kecepatan bahan bakar maka reaksi oksidasi yang terjadi antara bahan bakar dan udara tidak akan terjadi dengan sempurna. Sehingga reaksi oksidasi terjadi diatas sisi *outlet* pada nosel dimana kecepatan bahan bakar tidak terlalu tinggi. Hal ini juga akan mempengaruhi bentuk nyala api dimana pada nosel konvergen mempunyai *lift off* lebih tinggi dari nosel konvergen-divergen.



Gambar 4.4 : pola aliran bahan bakar pada nosel konvergen dengan debit udara

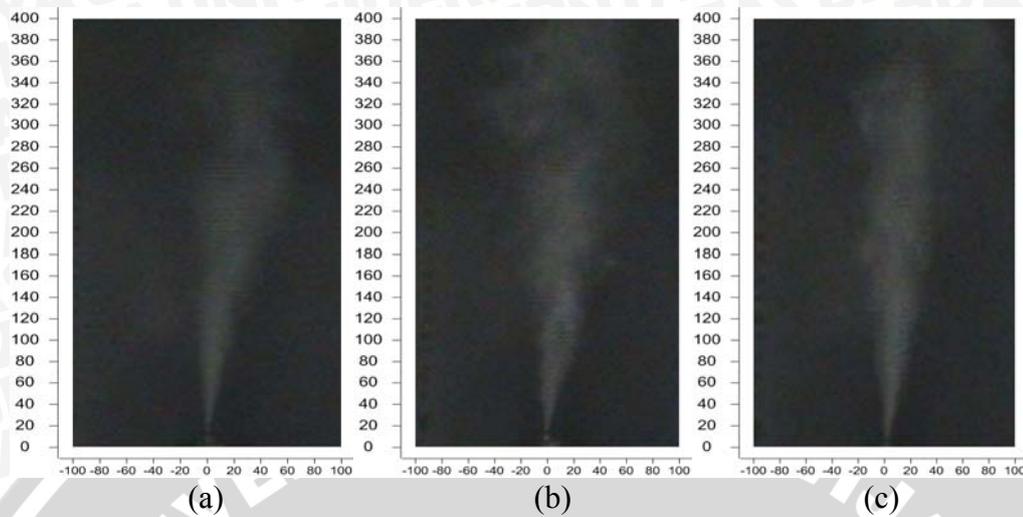
$7.715 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$ dan variasi debit bahan bakar.

(a) $2.115 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s}$

(b) $2.993 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s}$

Pada gambar 4.4 adalah pola aliran bahan bakar pada debit udara $7.715 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$ dengan variasi debit bahan bakar $2.115 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s}$ dan $2.993 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s}$. Dapat dilihat bahwa semakin besar debit bahan bakar yang dikeluarkan maka ukuran pola aliran bahan bakar yang terjadi akan semakin panjang dan lebar. Selain itu kepekatannya juga akan semakin tebal. Hal ini

disebabkan karena dengan penambahan debit bahan bakar maka bahan bakar yang keluar dari nosel juga akan semakin besar.



Gambar 4.5 : pola aliran pada nosel konvergen-divergen dengan debit

Bahan bakar $2.115 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s}$ dan variasi debit udara

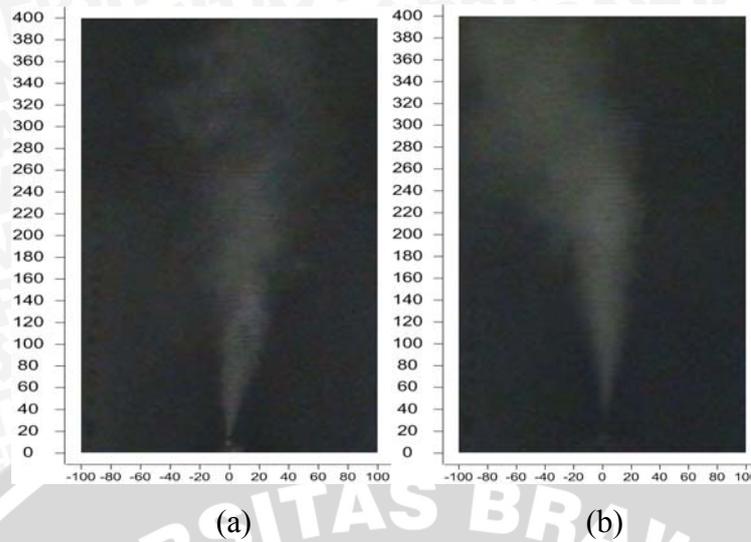
(a) $7.715 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$

(b) $1.090 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$

(c) $1.335 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$

Pada gambar 4.5 dapat dilihat bahwa semakin besar debit udara yang diberikan maka pola aliran bahan bakar yang terbentuk akan semakin panjang tetapi mempunyai lebar yang semakin sempit. Pola aliran seperti ini disebabkan karena bahan bakar yang keluar dalam bentuk droplet dari nosel akan terhembus keatas oleh kecepatan udara dari arah vertikal. Semakin besar debit udara yang dikeluarkan dari blower maka bentuk pola aliran yang terbentuk akan semakin tinggi. keluar dari nosel. sehingga terbentuklah pola aliran yang sesuai gambar diatas.

Dari perbandingan gambar 4.4 dan gambar 4.5 diatas dapat diketahui bahwa setiap penambahan debit bahan bakar maupun penambahn debit udara akan mempengaruhi bentuk pola aliran bahan bakar. Tetapi disini penambahan debit bahan bakar mempunyai perbedaan yang cukup signifikan. Selain perbedaan pada ukuran perbedaan juga terlihat pada kepekatan bahan bakar. Sedangkan dari penambahn debit udara hanya terjadi pada perbedaan ukuran pola aliran saja.



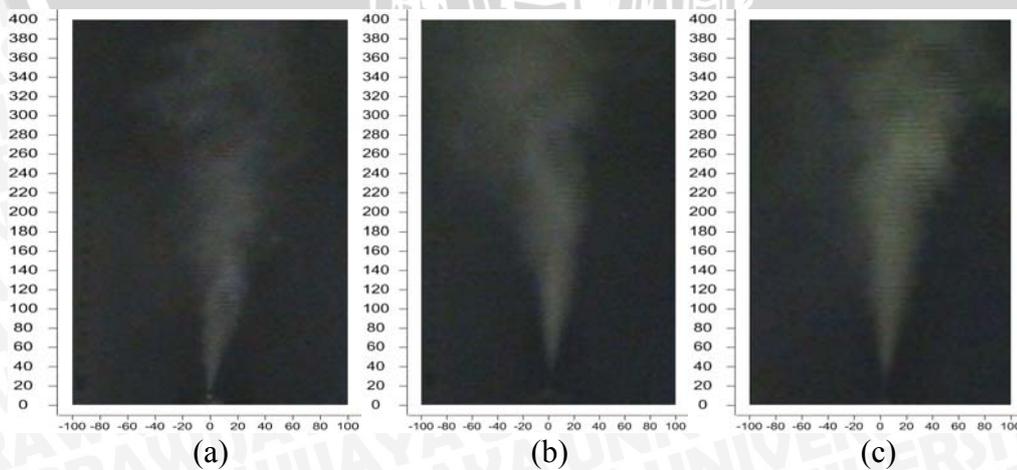
Gambar 4.6 : pola aliran bahan bakar pada nosel konvergen dengan debit udara

$7.715 \times 10^{-4} m^3 / s$ dan variasi debit bahan bakar.

(a) $2.115 \times 10^{-7} m^3 / s$

(b) $2.993 \times 10^{-7} m^3 / s$

Pada gambar 4.6 adalah pola aliran bahan bakar pada nosel konvergen dengan debit udara $7.715 \times 10^{-4} m^3 / s$ dan variasi debit bahan bakar masing-masing $2.115 \times 10^{-7} m^3 / s$ dan $2.993 \times 10^{-7} m^3 / s$. Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa dengan penambahan debit bahan bakar maka pola aliran bahan bakar juga akan berubah. Perbedaan pola aliran bahan bakar ini sama dengan pola aliran bahan bakar yang terjadi pada nosel konvergen-divergen. Yaitu pada ukuran dan kepekatan pola aliran yang terjadi.



Gambar 4.7 : pola aliran bahan bakar pada nosel konvergen dengan debit bahan

bakar $2.115 \times 10^{-7} m^3 / s$ dan variasi debit udara

- (a) $7.715 \times 10^{-4} m^3 / s$
- (b) $1.090 \times 10^{-3} m^3 / s$
- (c) $1.335 \times 10^{-3} m^3 / s$

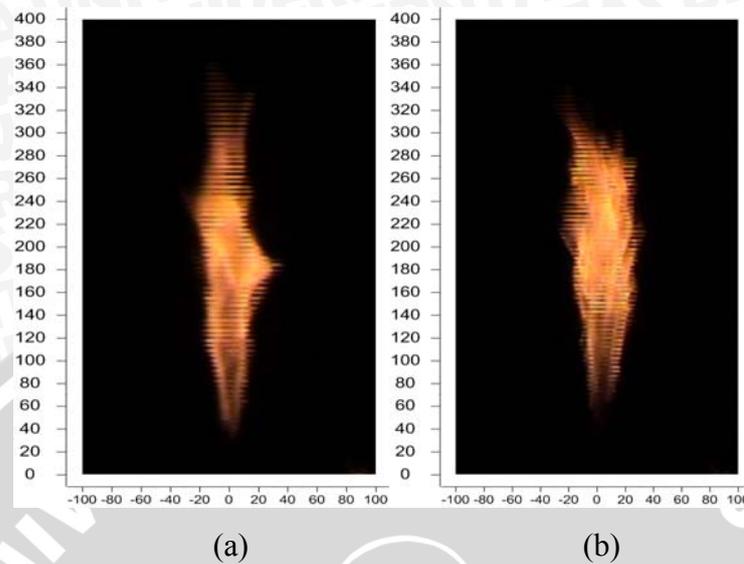
Gambar 4.7 adalah gambar pola aliran bahan bakar pada debit bahan bakar $2.115 \times 10^{-7} m^3 / s$ dengan variasi debit udara $7.715 \times 10^{-4} m^3 / s$, $1.090 \times 10^{-3} m^3 / s$ dan $1.335 \times 10^{-3} m^3 / s$. Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa pada debit udara $7.715 \times 10^{-4} m^3 / s$ pola aliran yang terjadi mempunyai panjang kepekatan api yang cenderung menyebar dibandingkan pada pola aliran bahan bakar pada debit udara $1.090 \times 10^{-3} m^3 / s$ dan $1.335 \times 10^{-3} m^3 / s$. Sedangkan pada pola aliran bahan bakar pada debit udara $1.335 \times 10^{-3} m^3 / s$ mempunyai kepekatan bahan bakar yang terpusat ditengah. Hal ini dikarenakan kecepatan udara yang keluar dari blower tidak cukup untuk mengangkat bahan bakar berupa droplet yang keluar dari nosel. Sehingga pola aliran yang terjadi cenderung melebar. Pada debit udara $1.335 \times 10^{-3} m^3 / s$ kepekatan pola aliran yang terjadi terjadi ditengah. Hal ini dikarenakan kecepatan udara yang dihembuskan dari blower mampu mengangkat bahan bakar berupa droplet. Sehingga bahan bakar terkonsentrasi ditengah akan menyebabkan pola aliran yang mempunyai kepekatan di tengah.

Dari gambar 4.6 dan gambar 4.7 diketahui bahwa dengan penambahan debit bahan bakar dan penambahan debit udara akan mempengaruhi bentuk dan kepekatan pola aliran yang terjadi. Tapi pada penambahan debit bahan bakar mempunyai perbedaan yang lebih signifikan dibandingkan pada penambahan debit udara. Karena dengan penambahan debit bahan bakar terjadi perubahan bentuk pola aliran pada ukuran dan kepekatanya.

4.3.2 Visualisasi api difusi

Visualisasi api digunakan untuk mengetahui karakter api pada nosel konvergen-divergen dan nosel konvergen, sehingga dapat diketahui fenomena yang terjadi pada api difusi. Disamping itu analisis yang dilakukan terhadap karakteristik api menjadi lebih mudah.

- a. perbandingan bentuk nyala api difusi untuk nosel konvergen-divergen dan nosel konvergen.



Gambar 4.8: Bentuk nyala api difusi pada nosel konvergen-divergen dan nosel konvergen dengan debit bahan bakar $2.993 \times 10^{-7} m^3 / s$ dan debit udara $7.715 \times 10^{-4} m^3 / s$

(a) nosel konvergen-divergen
(b) nosel konvergen

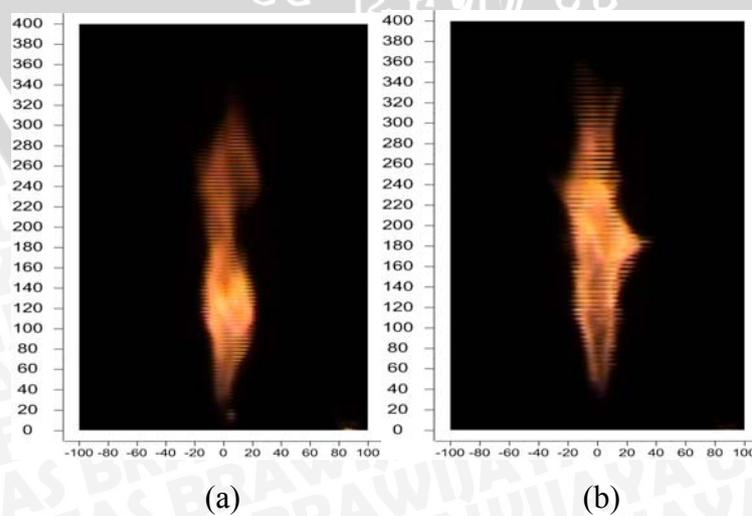
Pada gambar 4.8 adalah Perbandingan antara bentuk nyala api pada nosel konvergen-divergen dengan nosel konvergen pada debit bahan bakar $2.993 \times 10^{-7} m^3 / s$ dan debit udara $7.715 \times 10^{-4} m^3 / s$. Dari gambar diatas terlihat bahwa nosel konvergen-divergen mempunyai karakteristik yang berbeda dengan nosel konvergen. Hal ini dapat dilihat dari ukuran panjang dan lebar bentuk nyala api, ketinggian *lift off* bentuk nyala api.

Dari ukuran panjang terlihat bahwa nosel konvergen-divergen mempunyai panjang yang lebih tinggi dibandingkan nosel konvergen. Sedangkan jika ditinjau dari ukuran lebar nosel konvergen-divergen mempunyai lebar yang lebih sempit dibandingkan dengan nosel konvergen. Perbedaan panjang ini dikarenakan pada nosel konvergen-divergen mempunyai sisi divergen. Dimana pada sisi divergen ini bahan bakar akan diarahkan. Sedangkan pada nosel konvergen bahan bakar yang keluar dari nosel cenderung akan menyebar. Sehingga pada keadaan ini pada nosel konvergen-divergen mempunyai bentuk nyala api yang lebih panjang tetapi mempunyai lebar yang lebih sempit dibandingkan nosel konvergen. Hal ini

disebabkan karena pola aliran bahan bakar saat keluar nosel antara kedua nosel itu mempunyai karakteristik yang berbeda. Dimana pada nosel konvergen-divergen pola aliran bahan bakar yang terjadi lebih tinggi, tetapi mempunyai lebar yang lebih sempit. Sedangkan nosel konvergen mempunyai karakteristik sebaliknya. Dengan mengacuh pada bentuk pola aliran diatas maka bentuk nyala api yang terjadi akan sesuai dengan karakter pola aliran bahan bakar.

Selain dari panjang dan lebar api, perbedaan antara kedua nosel ini juga dapat dilihat dari *lift off*. Pada gambar 4.8 diatas terlihat bahwa nosel konvergen-divergen cenderung mempunyai *lift off* lebih pendek dari nosel konvergen. Perbedaan ini dikarenakan sisi *outlet* nosel konvergen-divergen lebih besar dari nosel konvergen. Dengan semakin besarnya *outlet* maka kecepatan aliran bahan bakar yang keluar nosel akan semakin lebih lambat dibandingkan dengan nosel yang mempunyai sisi *outlet* lebih kecil. Karena kecepatan aliran bahan bakar rendah maka reaksi oksidasi yang terjadi antara bahan bakar dan udara dapat terjadi di sisi *outlet* nosel. Sedangkan pada nosel konvergen kecepatan bahan bakar yang keluar nosel sangat cepat sehingga tidak sempat terjadi reaksi oksidasi pada sisi outlet, tetapi reaksi oksidasi akan terjadi beberapa saat setelah bahan bakar keluar, dimana pada jarak tersebut aliran bahan bakar tidak terlalu tinggi sehingga proses oksidasi antara bahan bakar dan udara dapat terjadi. Hal inilah yang menyebabkan nosel konvergen mempunyai *lift off* yang lebih tinggi daripada nosel konvergen-divergen.

- b. Visualisasi bentuk api difusi untuk nosel konvergen-divergen dan nosel konvergen



Gambar 4.9: Bentuk nyala api difusi pada nosel konvergen-divergen dengan debit udara $7.715 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$ dan variasi debit bahan bakar

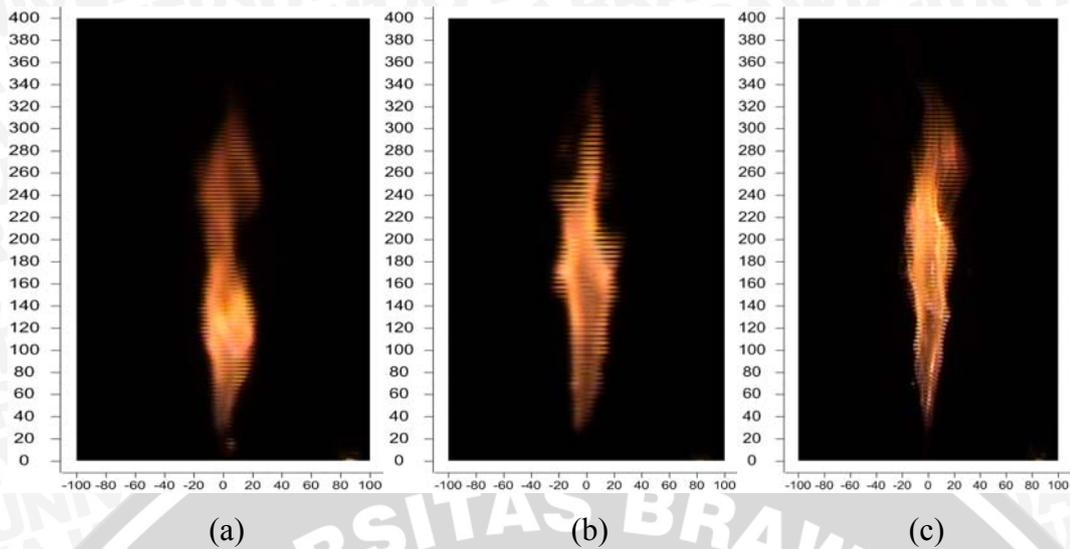
(a) $2.115 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s}$.

(b) $2.993 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s}$

Dari gambar 4.9 di atas terlihat bahwa semakin banyak debit bahan bakar yang diberikan maka bentuk nyala api yang terjadi juga semakin besar. Hal ini dapat dilihat pada panjang dan lebar bentuk nyala api tersebut. Selain dari ukuran bentuk nyala api perbedaan juga dapat dilihat dari *lift off*.

Dilihat dari bentuk ukurannya terlihat bahwa semakin besar debit bahan bakar yang diberikan maka bentuk nyala api akan semakin panjang dan lebar. Penambahan debit bahan bakar ini dapat memperluas permukaan kontak antara bahan bakar dengan udara, sehingga proses oksidasi antara bahan bakar dengan udara akan semakin luas. Dengan semakin luasnya proses oksidasi ini maka jika terjadi proses pembakaran akan dihasilkan bentuk nyala api seperti gambar di atas.

Selain dari ukuran perbedaan bentuk nyala api penambahan debit bahan bakar juga terlihat pada *lift off*. Disini dapat diketahui bahwa pada debit bahan bakar yang lebih besar *lift off* yang terjadi akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan pada debit bahan bakar yang besar maka kecepatan aliran bahan bakar yang keluar nosel juga akan semakin tinggi. Karena kecepatan aliran bahan bakar yang tinggi ini maka proses oksidasi antara bahan bakar dan udara tidak dapat terjadi pada sisi outlet nosel, reaksi oksidasi ini dapat terjadi saat kecepatan aliran bahan bakar tidak terlalu tinggi, dimana reaksi ini terjadi pada jarak 30mm dari sisi *outlet* nosel. Hal inilah yang menyebabkan nyala api pada debit bahan bakar yang lebih banyak mengalami *lift off* yang lebih tinggi daripada debit bahan bakar yang rendah.



Gambar 4.10 : Bentuk nyala api difusi pada nosel konvergen-divergen dengan debit

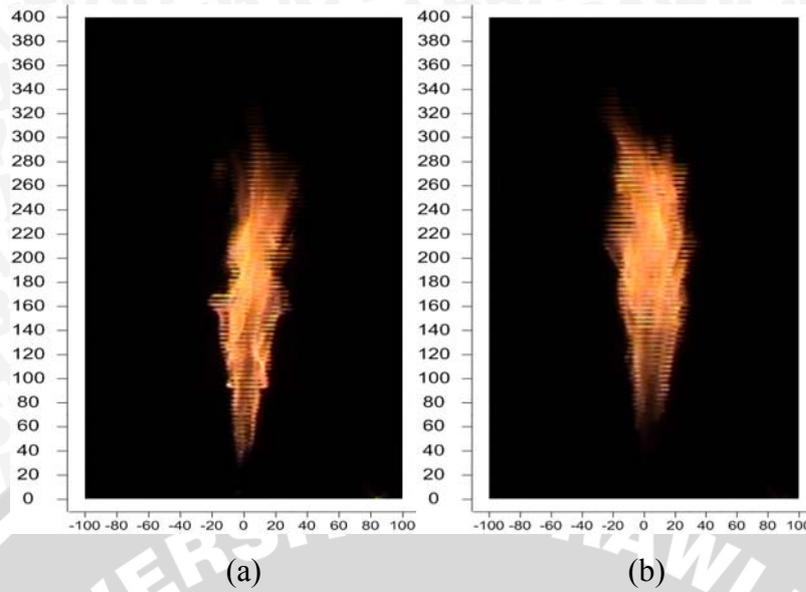
Bahan bakar $2.115 \times 10^{-7} m^3 / s$ dan variasi debit udara

(a) $7.715 \times 10^{-4} m^3 / s$

(b) $1.090 \times 10^{-3} m^3 / s$

(c) $1.335 \times 10^{-3} m^3 / s$

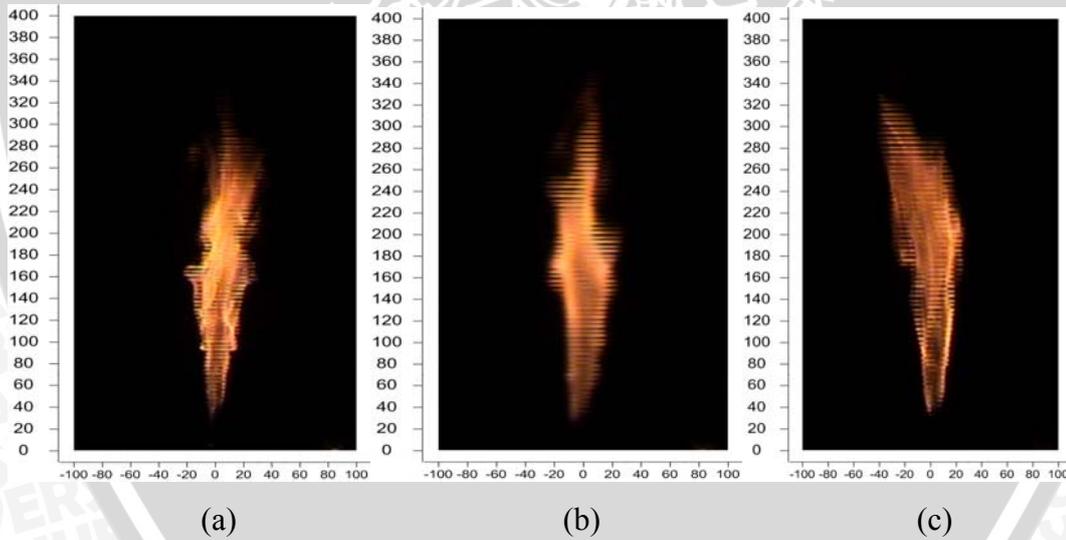
Pada gambar 4.10 diatas adalah bentuk nyala api pada nosel konvergen-divergen pada debit bahan bakar $2.115 \times 10^{-7} m^3 / s$ dengan variasi debit udara $7.715 \times 10^{-4} m^3 / s$, $1.090 \times 10^{-3} m^3 / s$ dan $1.335 \times 10^{-3} m^3 / s$. Dapat dilihat bahwa dengan penambahan debit udara yang diberikan perbedaan bentuk nyala api yang terjadi tidak terlalu signifikan dibandingkan penambahan debit bahan bakar gambar 4.9. Hal ini dikarenakan pada proses pembakaran difusi bahan bakar bercampur dan udara dengan sendirinya. Selain itu pada proses ini udara lingkungan saja cukup untuk melakukan proses oksidasi dengan bahan bakar. Hal ini berbeda pada proses pembakaran *premix*, dimana bahan bakar dan udara dicampur terlebih dahulu dalam ruang bakar. Sehingga pengaruh penambahan udara akan sangat berpengaruh pada produk pembakaran yang terjadi, salah satunya adalah bentuk nyala api. Oleh karena itu dengan penambahan debit udara perbedaan bentuk nyala api relatif kecil dibandingkan dengan penambahan debit bahan bakar.



Gambar 4.11 : Bentuk nyala api difusi pada nosel konvergen dengan debit udara $7.715 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$ dan variasi debit bahan bakar.

(a) $2.115 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s}$

(b) $2.993 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s}$



Gambar 4.12 : Bentuk nyala api difusi pada nosel konvergen dengan debit bahan bakar $2.115 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s}$ dan variasi debit udara

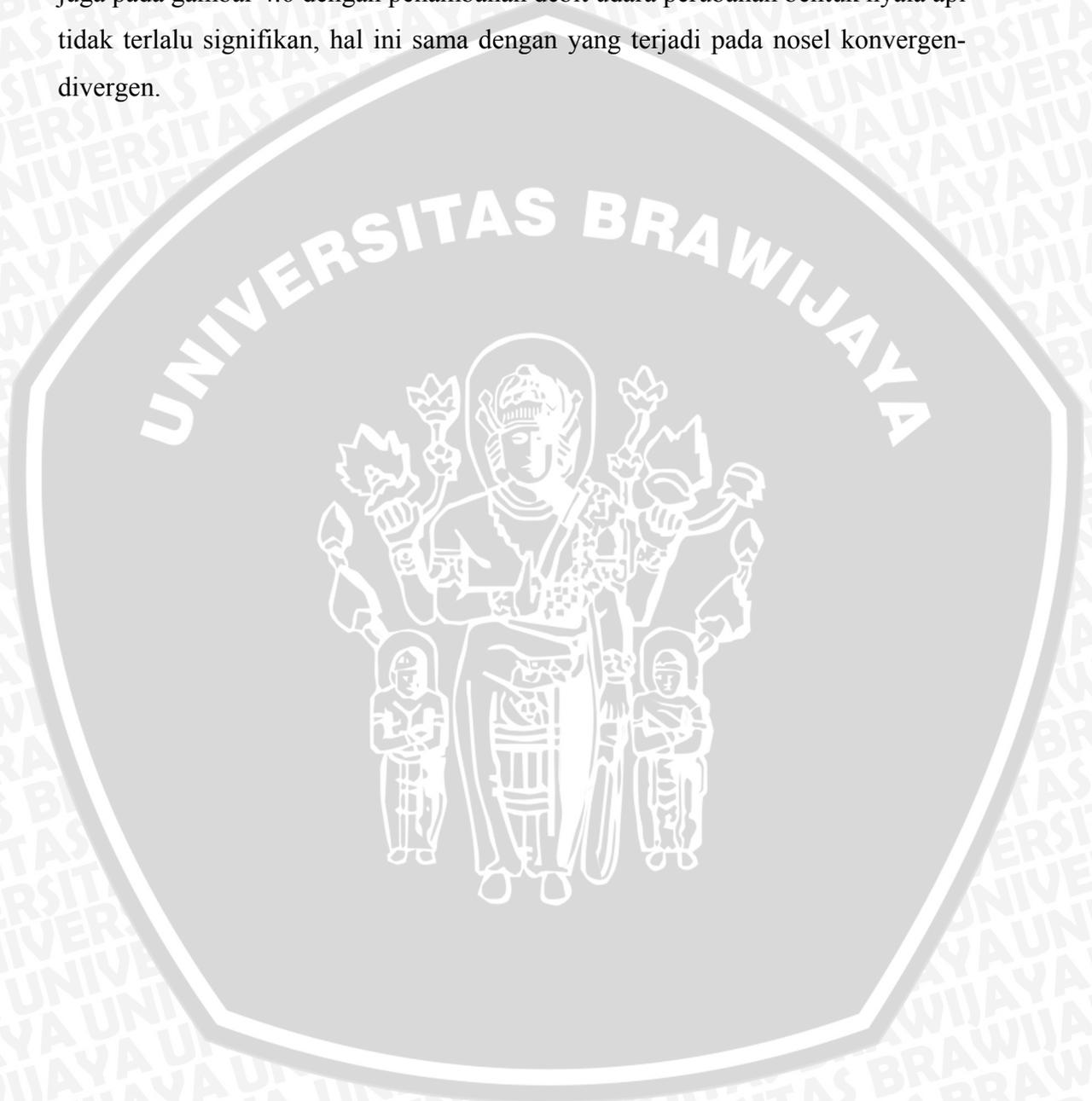
(a) $7.715 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$

(b) $1.090 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$

(c) $1.335 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$

Pada gambar 4.11 dan gambar 4.12 adalah visualisasi bentuk nyala api pada nosel konvergen. Pada gambar 4.11 adalah visualisasi bentuk nyala api

dengan variasi debit bahan bakar. Sedangkan gambar 4.12 adalah bentuk nyala api dengan variasi debit udara. Pada gambar 4.12 dengan penambahan debit bahan bakar maka bentuk nyala api akan semakin panjang dan lebar. Keadaan ini sama seperti penambahan debit bahan bakar pada nosel konvergen-divergen. Begitu juga pada gambar 4.6 dengan penambahan debit udara perubahan bentuk nyala api tidak terlalu signifikan, hal ini sama dengan yang terjadi pada nosel konvergen-divergen.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. kesimpulan

Dari hasil penelitian diatas dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut, antara lain:

- Nosel kovergen-divergen dan nosel konvergen mempunyai bentuk pola aliran bahan bakar dan bentuk nyala api yang berbeda.
- Bentuk nyala api tidak selalu sama dengan bentuk pola aliran, jika tidak proses pembakaran tidak terjadi secara sempurna.
- Pada nosel konvergen-divergen bentuk pola aliran bahan bakar dan bentuk nyala api mempunyai panjang yang lebih tinggi tetapi lebar lebih sempit dibandingkan nosel konvergen. Selain dari ukuran perbedaan juga dari *lift off*. Pada nosel konvergen-divergen *lift off* yang terjadi lebih rendah dibandingkan pada nosel konvergen. Hal ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Debit bahan bakar (m ³ /s)	Debit udara (m ³ /s)	Panjang api (mm)		Lebar api (mm)	
		K-D	K	K-D	K
2.115×10^{-7}	7.715×10^{-4}	340	333	44	56
2.115×10^{-7}	1.090×10^{-3}	360	340	59	61
2.115×10^{-7}	1.335×10^{-3}	343	334	51	58
2.993×10^{-7}	7.715×10^{-4}	362	342	60	59
2.993×10^{-7}	1.090×10^{-3}	344	336	51	60
2.993×10^{-7}	1.335×10^{-3}	364	346	65	68

5.2. Saran

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pembakaran difusi minyak tanah pada nosel konvergen-divergen dan nosel konvergen dengan diameter yang berbeda.
- Perlu adanya perbaikan pada instalasi alat penelitian, terutama pada pemanasannya. Sehingga pemanasan yang terjadi lebih stabil.
- Perlu adanya perbaikan saluran bahan bakar dari tabung ke nosel, sehingga losses yang terjadi dapat dikurangi.
- Alat ukur yang digunakan harus lebih teliti.

DAFTAR PUSTAKA

- Borman, G.L., Raylan, K. W, 1998, Combustion Engineering, Ney York, Mc Gray Hill.
- Delgado, jorge, 2002, *A study of Breakup Legth in a two Dimensional Liquid Sheet with Co-flowing Gas*, Pennsylvania State University,
<http://www.forms.gradsach.psu.edu/equity/sroppers/2002/delgadojorge.pdf>.
- Kampen, J.V. dkk (2006), *Some Aspects of the Atomization Behavior of Newtonian and of Shear thinning Gelled non-Newtonian Fluids with an Impinging Jet Injector*, German Aerospace Centre.
- Kuo K, 1986, *Principles of Combustion*, New York : Jonh Wiley & Sons, Inc.
- Olson, E. O, 2004, *Fuels Nozzles for Oil Burners*, South Carolina, Delavan Coltec Industries,
[Http://www.Delavan.co.uk/pdfs/Fuel_Nozzles For Burners.pdf](Http://www.Delavan.co.uk/pdfs/Fuel_Nozzles_For_Burners.pdf).
- Potter,C.M., Wigger, C.D. 1997, *Fluid mechanics*, Thrid Edition, Mc GrawHill
- Prasaad, Raam, Dr. 2000. *Petroleum Refining Technology*. India. Khanna Publishers.
- Robert Fox. 1985, Introduction To Fluid Mechanics, Thrid Edition.
- Tratama, T.; 2005 : Pengaruh Variasi Bentuk Nosel Terhadap Karakteristik Aliran Keluar Nosel. Skripsi, Malang : Universitas Brawijaya.
- Wardana, I. N. G., 1995, Bahan Bakar dan Teknik Pembakaran, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.
- Wijayanti, W.; 2003 : Bahan Bakar dan Teknik Pembakaran, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.
http://en.wikipedia.org/wiki/Ohnesorge_number
[www. hpa.org. uk](http://www.hpa.org.uk)

Lampiran

Lampiran 1. Data debit bahan bakar aktual (Q_{aktual}) dan debit bahan bakar ideal (Q_{ideal})

Δh (mm)	Q_{aktual} (ml/s)	Q_{ideal} (cm^3/s)
0	0	0
2	0.217674406	1.78227
4	0.370058243	2.52
6	0.447744967	3.08716
8	0.509771074	3.56474
10	0.649918412	3.98551
12	0.791171302	4.3659
14	0.941530411	4.71571

Lampiran 2. Data debit udara aktual (Q_{aktual}) dan debit udara ideal (Q_{ideal})

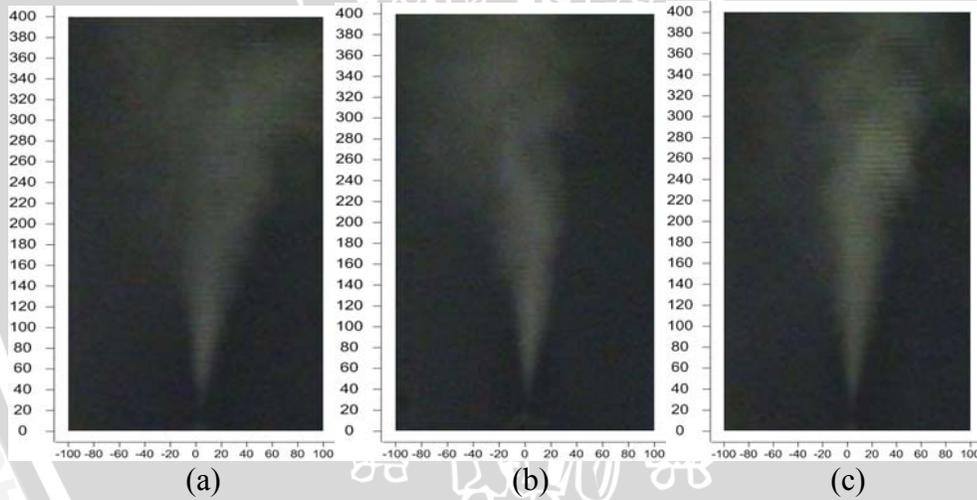
Tabel Δh , kecepatan aktual, debit aktual pada manometer *pitot tube*.

Δh_1 (m)	Δh_2 (m)	Δh_3 (m)	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)	V_3 (m/s)	V_{rata} (m/s)	Q_{aktual} (m^3/s)
0	0	0	0	0	0	0	0
5.08E-05	2.54E-05	1.27E-05	0.879	0.622	0.439	0.647	0.000368607
0.000203	0.000152	0.000127	1.758	1.522	1.39	1.557	0.000887351
0.000305	0.000254	0.000254	2.153	1.965	1.965	2.028	0.001155974
0.000483	0.000457	0.000406	2.709	2.637	2.486	2.611	0.001488157
0.000533	0.000508	0.000508	2.848	2.78	2.78	2.803	0.00159743
0.000711	0.000711	0.000635	3.289	3.289	3.108	3.229	0.001840248
0.000787	0.000762	0.000762	3.461	3.404	3.404	3.423	0.001951162
0.00094	0.000889	0.000838	3.781	3.677	3.57	3.676	0.002095377

Lampiran 3. Tabel kecepatan udara ideal dan debit udara ideal (Q_{ideal})

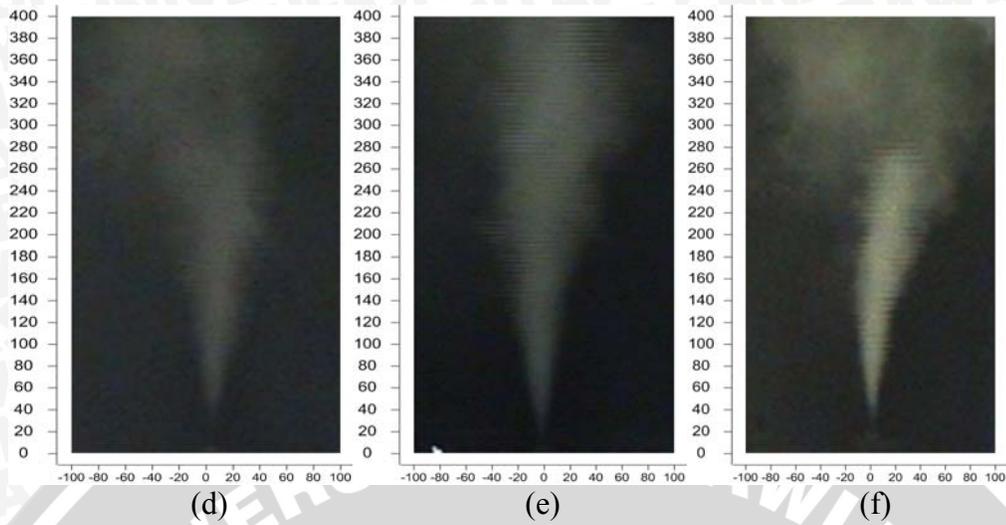
Δh manometer (m)	Kecepatan pada saluran (V_1) (m/s)	Q_{ideal} (m^3/s)
0	0	0
0.005	1.605684901	0.00091524
0.01	2.270781364	0.001294345
0.015	2.781127829	0.001585243
0.02	3.211369802	0.001830481
0.025	3.590420589	0.00204654
0.03	3.933108695	0.002241872
0.035	4.248242932	0.002421498
0.04	4.541562727	0.002588691

Lampiran 4. Visualisasi pola aliran bahan bakar
1. nosel konvergen



Pola aliran bahan bakar pada debit bahan bakar $2.115 \times 10^{-7} m^3 / s$ dan debit udara

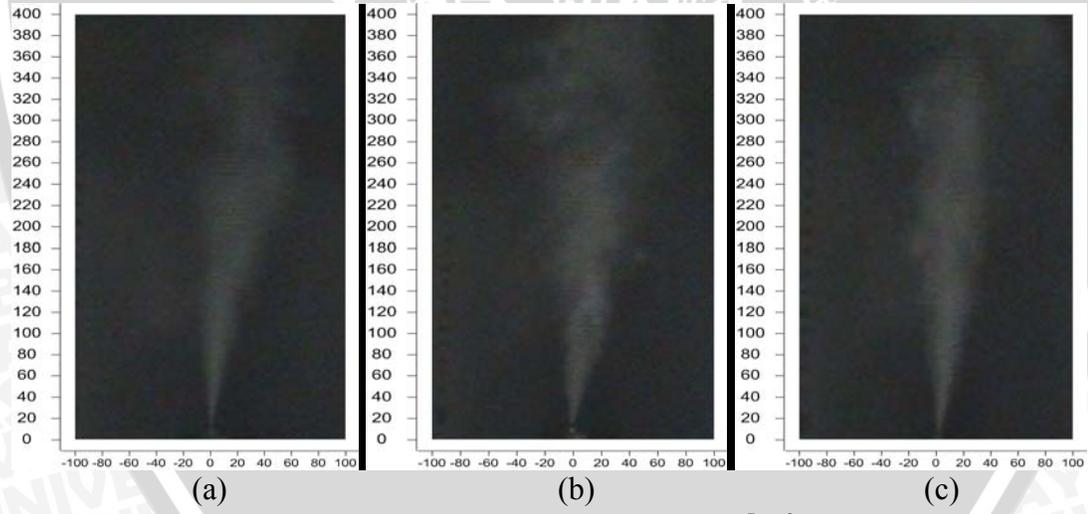
- a. $7.715 \times 10^{-4} m^3 / s$
- b. $1.090 \times 10^{-3} m^3 / s$
- c. $1.335 \times 10^{-3} m^3 / s$



Pola aliran bahan bakar pada debit bahan bakar $2.993 \times 10^{-7} m^3 / s$ dan debit udara

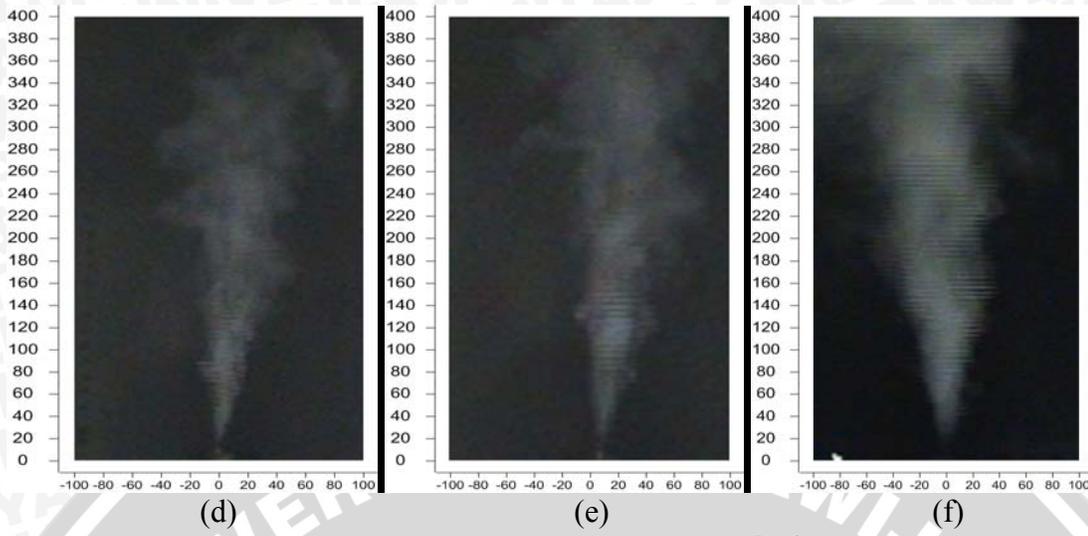
- d. $7.715 \times 10^{-4} m^3 / s$
- e. $1.090 \times 10^{-3} m^3 / s$
- f. $1.335 \times 10^{-3} m^3 / s$

2. nosel konvergen-divergen



Pola aliran bahan bakar pada debit bahan bakar $2.115 \times 10^{-7} m^3 / s$ dan debit udara

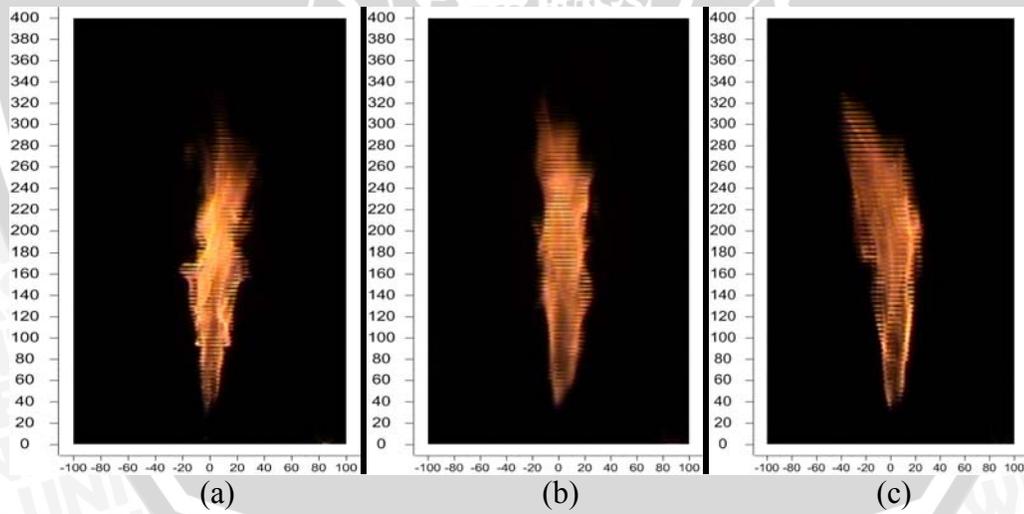
- a. $7.715 \times 10^{-4} m^3 / s$
- b. $1.090 \times 10^{-3} m^3 / s$
- c. $1.335 \times 10^{-3} m^3 / s$



Pola aliran bahan bakar pada debit bahan bakar $2.993 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s}$ dan debit udara

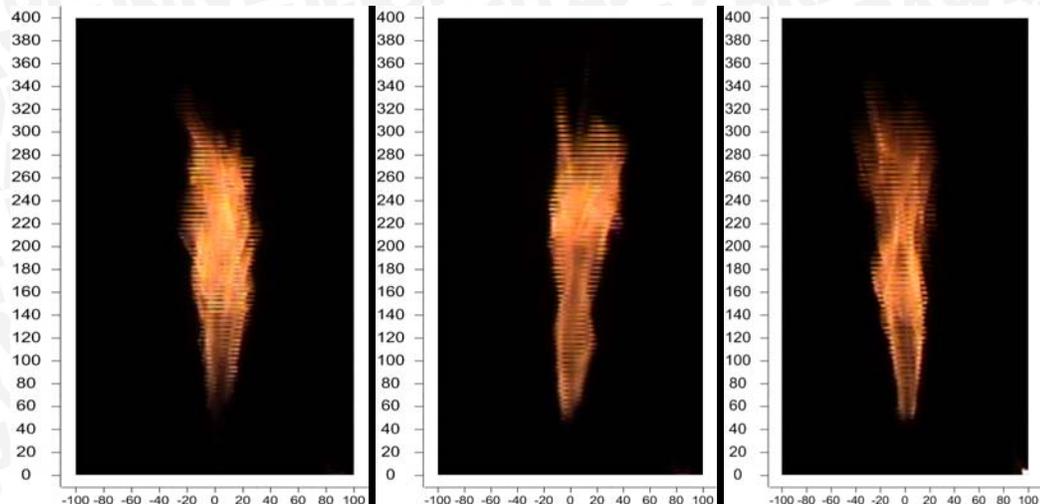
- d. $7.715 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$
- e. $1.090 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$
- f. $1.335 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$

Lampiran 5. Visualisasi bentuk nyala api
1. nosel konvergen



Bentuk nyala api pada debit bahan bakar $2.115 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s}$ dan debit udara

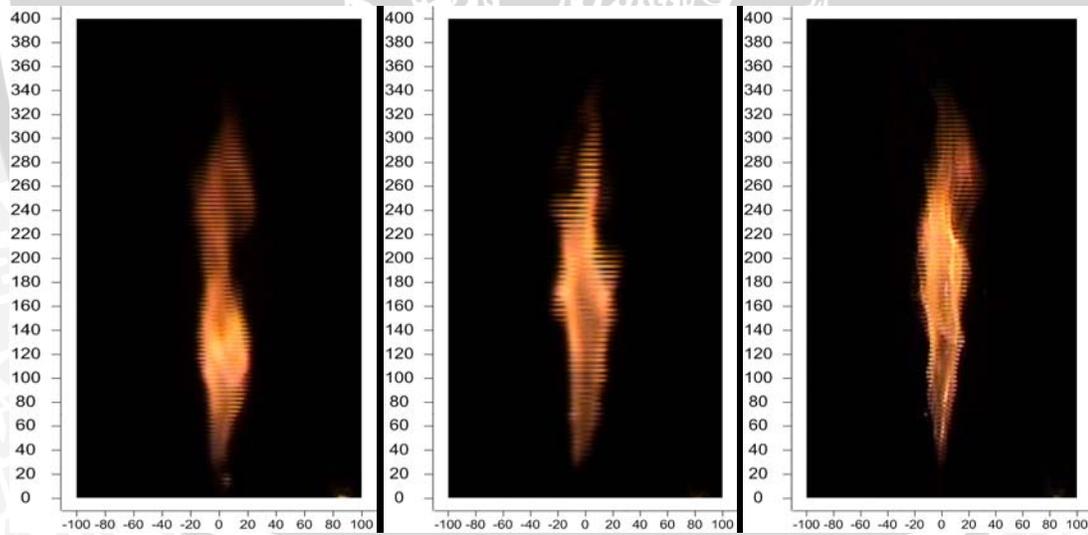
- a. $7.715 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$
- b. $1.090 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$
- c. $1.335 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$



(d) (e) (f)

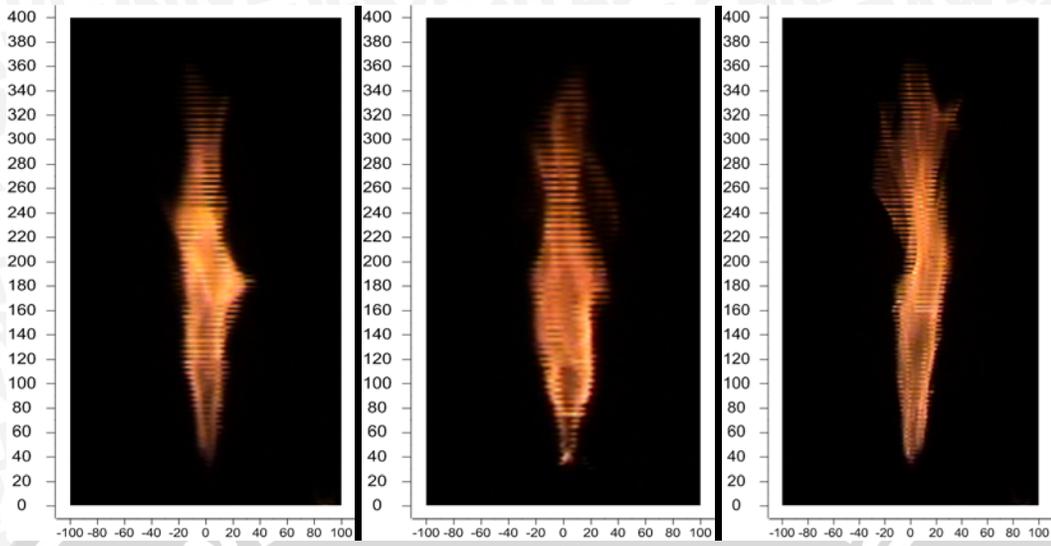
Bentuk nyala api pada debit bahan bakar $2.993 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s}$ dan debit udara
 d. $7.715 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$
 e. $1.090 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$
 f. $1.335 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$

2. nosel konvergen-divergen



(a) (b) (c)

Bentuk nyala api pada debit bahan bakar $2.115 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s}$ dan debit udara
 a. $7.715 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$
 b. $1.090 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$
 c. $1.335 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$



(d)

(e)

(f)

Bentuk nyala api pada debit bahan bakar $2.993 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s}$ dan debit udara

d. $7.715 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$

e. $1.090 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$

f. $1.335 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$

