PENGARUH VARIASI AIR FUEL RATIO (AFR) TERHADAP KARAKTERISTIK API PEMBAKARAN PREMIXED MINYAK KAPUK PADA BURNER

SKRIPSI KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

BAYU PRANOTO NIM. 0810620042-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN UNIVERSITAS BRAWIJAYA FAKULTAS TEKNIK MALANG 2013

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH VARIASI AIR FUEL RATIO (AFR) TERHADAP KARAKTERISTIK API PEMBAKARAN PREMIXED MINYAK KAPUK PADA BURNER

SKRIPSI KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh: **BAYU PRANOTO** NIM. 0810620042-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng NIP. 19590703 198303 1 002

NIP. 19740121 199903 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI AIR FUEL RATIO (AFR) TERHADAP KARAKTERISTIK API PEMBAKARAN PREMIXED MINYAK KAPUK PADA BURNER

SKRIPSI KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

BAYU PRANOTO NIM. 0810620042-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada tanggal 22 Januari 2013

Skripsi 1

Skripsi 2

<u>Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT</u> NIP. 19750802 199903 2 002 <u>Ir. Endi Sutikno, MT</u> NIP. 19590411 198710 1 001

Komprehensif

<u>Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT</u> NIP. 19720817 200003 1 001

> Mengetahui Ketua Jurusan Teknik Mesin

<u>Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT</u> NIP. 19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Pengaruh Variasi Air Fuel Ratio (AFR) Terhadap Karakteristik Api Pembakaran Premixed Minyak Kapuk Pada Burner".

Selama proses penyusunan dan penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari keterlibatan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan kepada:

- 1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
- 2. Bapak Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng., Dr.Eng., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
- 3. Ibu Lilis Yuliati, ST., M.Eng., Dr.Eng., selaku KKDK Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
- 4. Bapak Prof. Ir. I.N.G.Wardana, M.Eng., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan dan ilmu yang bermanfaat serta wawasan yang luas selama penyusunan skripsi ini.
- 5. Bapak Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., Dr.Eng., selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan saran, masukan dan ilmu yang bermanfaat selama proses penyusunan skripsi ini.
- 6. Ayahanda Ir. Boedi Poerwanto dan Ibunda Sri Riyani yang telah mendukung segenap jiwa dan raga serta senantiasa memberikan doa hingga menghantarkan penulis dari awal sampai akhir penyusunan skripsi ini.
- 7. Mas Galih Budi Prasetya ST., yang telah meluangkan waktu dan tenaganya dalam membantu penulis selama proses pengambilan dan pengolahan data.
- 8. Teman-teman Laboratorium Motor Bakar yang selalu membantu dalam pengambilan data dan memberikan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya.
- 9. Ikhlasul Amallynda yang senantiasa memberikan dukungan yang tak terhingga dalam penyusunan skripsi ini.
- 10. Teman-teman M'08 untuk dukungan yang selalu diberikan.
- 11. Seluruh pihak terkait yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kedepannya menjadi lebih baik lagi sehingga dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, Januari 2013

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	
DAFTAR ISI	
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN	X
RINGKASAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Minyak Kapuk (Ceiba Pentandra)	5
2.3 Bunsen Burner.	9
2.4 Proses Pembakaran	10
2.5 Reaksi Kimia pada Proses Pembakaran	
2.6 Energi Aktivasi	13
2.7 Energi Disosiasi	14
2.8 Pembakaran <i>Premixed</i>	14
2.9 Kecepatan Pembakaran	17
2.10 Pembakaran Stoikiometri	
2.10.1 Campuran udara dan bahan bakar	18
2.10.2 Rasio udara dan bahan bakar (Air-fuel Ratio/AFR)	18
2.10.3 Rasio ekivalen (<i>Equivalent Ratio</i> , Φ)	18
2.11 Angka Lewis	19
2.12 Hipotesa	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21

4113	3.1 Metode Penelitian	21
	3.2 Variabel Penelitian	21
	3.3 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	22
3	3.4 Skema Instalasi Penelitian	22
3		22
	3.6 Peralatan Penelitian	25
3	3.7 Diagram Alir Penelitian	32
BAB I	IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
7	4.1 Pengolahan Data	33
	4.2 Pembahasan	34
	4.2.1 Hubungan variasi Air Fuel Ratio (AFR) terhadap kecepatan api	35
	4.2.2 Hubungan variasi Air Fuel Ratio (AFR) terhadap geometri api	36
	4.2.3 Hubungan variasi Air Fuel Ratio (AFR) terhadap temperatur api	37
	4.2.4 Pola Api	38
BAB V	V KESIMPULAN DAN SARAN	42
	5.3 Kesimpulan	42
4	5.2 Saran	43
DAET	PAD DIISTAIZA	

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Perbandingan Sifat Fisik dan Kimia Minyak Kapuk dengan	
	Standar Solar	7
Tabel 2.2	Struktur Kimia dan Nama Berbagai Asam Lemak	-8
Tabel 2.3	Komposisi Minyak Kapuk	9
Tabel 4.1	Data Hasil Penelitian	34





DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Pola Api pada Bunsen Burner	4
Gambar 2.2	Kapuk Randu	5
Gambar 2.3	Biji Kapuk	6
Gambar 2.4	Ampas Biji Kapuk	6
Gambar 2.5	Minyak Kapuk	8
Gambar 2.6	Skema Bunsen Burner	10
Gambar 2.7	Ilustrasi Proses Pembakaran	11
Gambar 2.8	Keadaan Molekul ketika Tertabrak Radikal bebas	12
Gambar 2.9	Peran Energi Aktivasi dalam Proses Reaksi	13
Gambar 2.10	Distribusi Maxwell-Boltzmann	13
Gambar 2.11	Posisi Energi Aktivasi dalam Distribusi Maxwell-Boltzmann	14
Gambar 2.12	Cara Reaktan Terbakar pada Pembakaran Premix dan Difusi	15
Gambar 2.13	Detail Struktur di Dalam Api Premixed	16
Gambar 3.1	Skema Instalasi Penelitian	22
Gambar 3.2	Skema Pengukuran Temperatur Api	24
Gambar 3.3	Burner	25
Gambar 3.4	Ketel (a)	25
Gambar 3.5	Kompresor	26
Gambar 3.6	Kompor Listrik	26
Gambar 3.7	Katup Bahan Bakar	27
Gambar 3.8	Katup Udara	27
Gambar 3.9	Orifice Bahan Bakar	27
Gambar 3.10	Orifice Udara	28
Gambar 3.11	Manometer Bahan Bakar	28
Gambar 3.12	Manometer Udara	28
Gambar 3.13	Kamera	29
Gambar 3.14	Komputer	30
Gambar 3.15	Minyak Kapuk	30
Gambar 3.16	Dimensi Nozzle	30
Gambar 3.17	Spuit Suntik	31

Gambar 3.18	Thermometer	31
Gambar 3.19	Thermostat	31
Gambar 3.20	Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 4.1	Pengolahan Visualisasi Api pada Software Adobe Photoshop	33
Gambar 4.2	Pengolahan Sudut Api pada Software Autocad 2009	33
Gambar 4.3	Pengolahan Tinggi Api pada Software Autocad 2009	34
Gambar 4.4	Hubungan Variasi Air Fuel Ratio (AFR) Terhadap Kecepatan Api	35
Gambar 4.5	Hubungan Variasi Air Fuel Ratio (AFR) Terhadap Geometri Api	36
Gambar 4.6	Hubungan Variasi Air Fuel Ratio (AFR) Terhadap Temperatur Api	37
Gambar 4.7	Pola Api dari Pembakaran Minyak Kapuk dan Udara	38
Gambar 4.8	Nyala Api pada AFR 1,980:1	39
Gambar 4.9	Nyala Api pada AFR 1,980:1 Nyala Api pada AFR 4,292:1	4(
Gambar 4.10	Nyala Api pada AFR 4,563:1	41



DAFTAR LAMPIRAN

No. Judul

Lampiran 1 Data hasil perhitungan

Lampiran 2 Data Sudut dan Kecepatan Api

Lampiran 3 Data Tinggi Api

Lampiran 4 Data Visualisasi Api



RINGKASAN

Bayu Pranoto, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari, 2013, *Pengaruh Variasi Air Fuel Ratio (AFR) Terhadap Karakteristik Api Pembakaran Premixed Minyak Kapuk Pada Burner*, Dosen Pembimbing: I.N.G. Wardana, Nurkholis Hamidi.

Kebutuhan manusia yang sangat besar terhadap bahan bakar fosil menyebabkan cadangan sumber energi tersebut semakin lama semakin berkurang, sehingga saat ini banyak dikembangkan bahan bakar dari minyak nabati yang salah satunya adalah minyak kapuk. Kandungan minyak kapuk yang sangat kompleks terdiri dari beberapa rangkaian trigliserida asam lemak dan juga gliserol. Dimana masing-masing asam lemak punya karakteristik pembakarannya sendiri, sehingga mempengaruhi pola api pembakaran minyak kapuk secara keseluruhan, yang mana besarnya AFR juga berpengaruh pada karakteristik nyala api. Oleh karena itu perlu diketahui pengaruh AFR terhadap karakteristik api pembakaran minyak kapuk. Penelitian ini dilakukan dengan membakar campuran uap minyak kapuk dan udara pada burner dengan AFR tertentu hingga api mengalami lift off kemudian padam (blow off). Berdasarkan data hasil penelitian didapatkan bahwa penambahan AFR meningkatkan kecepatan api (30,278cm/dt pada AFR 0,143:1 terus meningkat hingga 296,347cm/dt pada AFR 4,011:1), dan mempengaruhi pola warna api yang tadinya berwarna kekuningan menjadi biru lalu api mulai terangkat (lift off) kemudian padam. Perubahan AFR juga memberi pengaruh pada perubahan temperatur api meski perubahannya tidak terlalu signifikan. Perubahan AFR memberikan geometri api yang semakin membesar (dengan tinggi api 1,34 cm pada AFR 0,143:1 hingga tinggi api 4,429 cm pada AFR 1,526:1) kemudian api semakin kecil (tinggi api 0,264 cm pada AFR 4,011:1) hingga api *lift off* lalu padam.

Kata Kunci : Minyak kapuk, *burner*, *premixed*, kecepatan api, temperatur api, geometri api, warna api.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan manusia yang sangat besar terhadap bahan bakar fosil menyebabkan cadangan sumber energi tersebut semakin lama semakin berkurang, selain itu berdampak pula pada lingkungan karena dapat menyebabkan polusi udara. Hal ini membuat masyarakat sadar bahwa ketergantungan terhadap bahan bakar fosil harus segera dikurangi. Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan adanya bahan bakar alternatif yang murah dan mudah didapatkan serta bersifat terbarukan (*renewable*). Salah satu bahan bakar alternatif tersebut adalah minyak biji kapuk (*ceiba pentandra*).

Potensi minyak nabati seperti minyak biji kapuk di negara beriklim tropis seperti Indonesia sangat besar untuk pembuatan biodiesel maupun bahan bakar minyak biji kapuk murni. Kapuk yang dihasilkan dari tanaman ini dapat diolah untuk berbagai keperluan seperti serat kapuk banyak digunakan sebagai pengisi bantal, kasur, dan jok kursi. Pada industri elektronika dan bangunan, serat kapuk digunakan sebagai isolator panas dan peredam suara. Pada industri permesinan, serat kapuk dapat digunakan sebagai filter dan oil separator. Pada industri pemintalan, serat kapuk digunakan untuk membuat benang dan dengan proses yang benar dapat dijadikan kain tenun. Ampasnya dapat dimanfaatkan untuk makanan ternak(konsentrat), pupuk tanaman, media budidaya jamur, dll. Biji kapuk dapat diolah menjadi sabun, bahan batik dan bahan minyak biodiesel. Tempurungnya dapat digunakan sebagai bahan bakar. Selain itu biji kapuk juga memiliki potensi yang besar untuk diolah menghasilkan biofuel yang dapat menjadi bahan bakar alternatif dan ramah lingkungan.

Biofuel dari minyak biji kapuk dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar yang ekonomis pada suatu proses pembakaran diantaranya adalah pembakaran premixed. Proses pembakaran premixed secara luas digunakan pada sistem pembakaran seperti pada pembakaran bunsen burner, mesin otto, dan lain-lain. Pembakaran premixed adalah pembakaran dimana udara dan bahan bakar dicampur terlebih dahulu kemudian dibakar. Temperatur uap minyak kapuk memegang peranan penting terhadap proses pembakaran premixed dalam ruang bakar. Semakin tinggi temperatur uapnya maka campuran bahan bakar dan udara semakin mudah terbakar karena atom-atomnya semakin mudah untuk saling bertumbukan. Pada gradien temperatur tertentu menunjukkan bahwa terjadi proses pemanasan dua kali, yang pertama menguap

diperkirakan adalah asam lemak dan terbakar terlebih dahulu, kemudian diikuti oleh penguapan gliserol (Wardana, ING., 2009:659).

Di dalam proses pembakaran, kestabilan api memegang peranan yang sangat penting. Api dikatakan stabil apabila stasioner pada posisi tertentu, hal ini terjadi bila kecepatan gas reaktan sama dengan kecepatan perambatan api.

Beberapa macam keadaan yang disebabkan oleh ketidakstabilan api diantaranya adalah *lift off* dan *blow off*. Jika kecepatan perambatan api lebih kecil daripada kecepatan gas reaktan maka api akan bergerak meninggalkan mulut *nozzle*. Fenomena ini disebut dengan *lift off* dan dapat pula menyebabkan terjadinya *blow off* yaitu keadaan saat api padam.

Dalam menganalisa ketidakstabilan api pada suatu proses pembakaran *premixed*, metode yang digunakan beraneka ragam baik metode perhitungan teoritis maupun metode optik berupa gambar atau hasil foto. Dengan menggunakan metode foto analisis ketidakstabilan api dapat dilakukan secara lebih terperinci tentang pola aliran api secara menyeluruh. Analisa ketidakstabilan api selanjutnya dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik dari suatu api. Salah satu faktor yang berperan penting dalam mempengaruhi ketidakstabilan api adalah *Air Fuel Ratio* (*AFR*). *AFR* merupakan nilai perbandingan antara massa udara dan massa bahan bakar. Nilai AFR tersebut menyatakan banyaknya udara yang digunakan untuk membakar bahan bakar dalam jumlah tertentu.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi *Air Fuel Ratio (AFR)* terhadap karakteristik api pembakaran *premixed* minyak kapuk pada *burner*. Karaketristik api yang dimaksud dalam penelitian ini meliputi kecepatan pembakaran, geometri api, warna api, dan temperatur api.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dirumuskan sebuah pemasalahan yaitu : bagaimana pengaruh variasi *Air Fuel Ratio (AFR)* terhadap karakteristik api pembakaran *premixed* minyak kapuk pada *burner*?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjadikan penelitian ini lebih terarah maka penulis akan memberikan batasan-batasan masalah yang meliputi hal-hal berikut ini :

1. Bahan bakar yang digunakan adalah minyak kapuk

- 2. Jenis pembakaran yang digunakan adalah pembakaran *premixed*.
- 3. Analisa berdasarkan data penelitian yang berupa foto.
- 4. Temperatur ruangan pengujian 27 °C.
- 5. Dalam penelitian ini hanya dipakai cara pemutusan ikatan atom dengan pemanasan.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi *Air Fuel Ratio* (*AFR*) terhadap karakteristik api pembakaran *premixed* minyak kapuk pada *burner*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

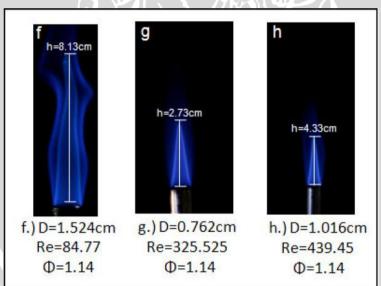
- 1. Sebagai referensi untuk penelitian lebih lanjut mengenai analisa karakteristik api pembakaran *premixed* minyak kapuk.
- 2. Sebagai literatur bagi mahasiswa untuk mengembangkan ilmu yang berkaitan dengan fenomena-fenomena karakteristik api pembakaran *premixed*.
- 3. Memberikan informasi bagi industri tentang karakteristik api pembakaran *premixed* minyak kapuk.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

F. Takahashi, et al. (1990) dalam penelitiannya yang berjudul "Lifting Criteria of Jet Diffusion Flame" menyimpulkan bahwa batas stabilitas api pada dasarnya dipengaruhi oleh besarnya debit aliran pembakaran dimana hal ini nantinya berhubungan erat dengan fenomena lift off (api terangkat menjauhi mulut nozzle) dan blow off (kondisi dimana api padam). Penelitian lainnya mengenai minyak kapuk juga dilakukan oleh Basthiyan Sidqi (2011) yang menginjeksikan uap minyak kapuk kedalam microcombustor dengan temperatur bervariasi. Didapatkan bahwa semakin tinggi temperatur uap minyak kapuk maka kecepatan reaksi akan meningkat, ignition delay time dan flash point menurun, sedangkan burning rate akan meningkat.

Penelitian lainnya yang berkaitan dengan kecepatan pembakaran juga pernah dilakukan oleh Julie Buffam dan Kevin Cox (2008) dimana campuran metana-udara dibakar pada *bunsen burner* dengan beberapa nilai *equivalent ratio* yang berbeda sehingga didapat nyala api seperti yang terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pola Api pada *Bunsen Burner* Sumber: Julie Buffam dan Kevin Cox (2008)

Hasil perekaman gambar api diambil untuk kemudian dhitung kecepatan pembakarannya dengan mengalikan kecepatan reaktan dengan sinus sudut antara kecepatan pembakaran dan kecepatan reaktan. Hasilnya bahwa kecepatan pembakaran premixed metana-udara memiliki nilai tertinggi pada equivalent ratio ($^{\phi}$) = 1 dimana campuran bahan bakar dan udara pada kondisi stokiometri.

Ketidakstabilan api difusi (lift off) pada burner concentric annulus tube diteliti oleh Arief Kurniawan (2006) dengan memvariasikan kecepatan aliran bahan bakar dan udara. Diperoleh kesimpulan semakin besar kecepatan aliran udara maka proses terjadinya lift off juga semakin lambat karena semakin cepat aliran udara maka massa alir udara juga semakin besar sehingga makin banyak udara yang bereaksi dengan bahan bakar yang menyebabkan pembakaran semakin baik. Didapatkan juga bahwa semakin besar kecepatan aliran udara maka luasan daerah api laminar juga semakin besar. Saat kecepatan aliran bahan bakar dan udara dinaikkan maka *lift off* juga semakin meningkat, aliran yang terjadi semakin turbulen sehingga pencampuran bahan bakar dan udara semakin baik akibatnya api didominasi warna biru.

2.2 Minyak Kapuk (Ceiba Pentandra)

Potensi minyak biji kapuk / kapuk seed oils sangat besar diantaranya untuk media pembuataan genteng pres dan keramik supaya menimbulkan warna yang natural, pembuatan mie agar lebih kenyal dan tahan lama, dll. Dari 147 jenis kapuk yang dapat tumbuh di berbagai negara, terdapat dua jenis yang dapat menghasilkan produk yang cukup baik yakni indica dan caribbaca. Indica memiliki batang pendek dan berdaun jarang serta dapat menghasilkan sekitar 600 gelondongan (sekitar 20 serat/pohon/tahun), sedangkan jenis caribbaca memiliki batang yang lebih tinggi, besar, sekitar 2000 gelondongan (sekitar 80 kg berdaun lebat dan menghasilkan serat/pohon/tahun). Kapuk randu seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Kapuk Randu Sumber: Anonymous A

Dari Biji kapuk dapat diolah menjadi sejenis minyak goreng nonkolesterol dan minyak campuran sebagai bahan baku pembuatan sabun. Bahkan juga dapat digunakan sebagai bahan bakar pada lampu pelita. Bungkil kapuk dapat digunakan sebagai bahan pembuat pupuk, dan dari biji juga dapat diolah untuk bahan campuran pakan ternak

lainnya. Minyak kapuk berwarna kuning, tidak berbau dan rasanya tawar. Kandungan asam lemak, sama dengan minyak biji kapas, sementara persentase asam linoleat lebih yaitu sekitar 22-25%. Contoh biji kapuk randu dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Biji Kapuk Sumber: *Anonymous* B

Ampas hasil pengepresan digunakan sebagai bahan pupuk karena memiliki kandungan Nitrogen 4-5% dan 2% asam fosfat. Kegunaan ampas biji kapuk yang pokok untuk makanan ternak, kekurangannya kulit biji tidak mudah dicerna. Cara mengatasinya adalah ampas biji kapuk tersebut dicampur dengan bahan makanan lainnya. Ampas biji kapuk mengandung 13% air, 6% abu, 20% serat kasar, 6% lemak, 29% protein dan 20% karbohidrat. Ampas biji kapuk seperti pada gambar 2.4 merupakan bahan pakan yang kurang disukai oleh ternak ruminansia, namun demikian konsumsinya tidak berbeda nyata jika dibandingkan dengan ampas kedelai atau ampas kelapa. Hal ini kemungkinan disebabkan karena ampas biji kapuk tidak bisa berperan sebagai perangsang bau yang baik karena baunya tidak tajam. Selain itu rasanya yang hampir tidak terasa, disamping bentuk fisiknya agak keras dibandingkan dedak, ampas kelapa dan ampas kedelai. Oleh karena itu untuk pemberiannya pada ternak ruminansia sebaiknya dikombinasikan dengan bahan lain yang lebih merangsang bau dan rasanya.



Gambar 2.4 Ampas Biji Kapuk Sumber: *Anonymous* C

Karena minyak biji kapuk mempunyai kadar *acid* yang cukup tinggi dapat sebagai bahan pengawet alami tanpa efek samping yang membahayakan bagi kesehatan. Aplikasi *kapuk seed oil* lainya diantaranya kosmetik, minyak goreng, margarin, *oil additive lubricant*, *biofuel*, *biodiesel*, dll.

Kapuk merupakan salah satu tanaman yang berpotensi menghasilkan minyak. Setiap gelondong buah kapuk mengandung 26 % biji, sehingga setiap 100 kg gelondong kapuk akan menghasilkan 26 kg limbah biji dengan harga jual Rp 500 / kg. Biji kapuk mengandung 18-25 % minyak biji. Minyak ini memiliki kerapatan 0,917 kg/l, bilangan iodine 88, dan bilangan fiksasi 181. Minyak biji kapuk seperti yang terlihat pada gambar 2.5 mengandung asam lemak tidak jenuh sekitar 71,95 %, lebih tinggi dibandingkan dengan minyak kelapa. Hal ini menyebabkan minyak biji kapuk mudah tengik, sehingga kurang baik untuk dikembangkan sebagai minyak makanan. Namun minyak biji kapuk berpotensi untuk dijadikan substitusi minyak diesel. Sifat fisik dan kimia dari minyak kapuk dibandingkan dengan minyak solar ditampilkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan Sifat Fisik dan Kimia Minyak Kapuk dengan Standar Solar

No	Sifat yang mencirikan	Satuan	Minyak biji ka	apok berbentuk	Standar Minyak solar		
INO			Asli	(Biodiesel)	Jerman	Indonesia	
1	Boiling point	°C	160	86,6	•	•	
2	Flash Point	°C	308	92,0	Min. 55	> 66	
3	Pour point	°F	25	40		< 65	
4	Cetane Index		36	47,5		> 48	
5	Angka Cetane		33	44,5	Min 45		
6	Gross Heating value	BTU/lb	19.145,6	19.372,1		22.450,0	
	(perhitungan)	MJ/kg	44,53	45,06			
7	Nilai kalori	kal/gram	10.051,7				
	(kalorimetri)	MJ/kg	42,08		Min. 42		
8	Specific gravity		0,9215	0,876	0,80 - 0,86	0,82-0,87	
9	Viscosity pada 20 °C:						
	dynamic						
	kinematic	cР	50,0	4,487	2,4 - 9,6	1,6-5,8	
		cS(mm²/s)	54,26	5,122	2,0 - 8,0		
10	Residu, CCR	% berat		0,112		< 0,1	
11	Bilangan iod	g/100g	81,383				
12	Bilangan peroksida,	mg _{eq} /kg	93,287				
13	Bilangan penyabunan		134,907				
14	Asam lemak bebas,	%	7,55-9,26				
15	Kandungan air	% vol		0,2		< 0,05	
16	Kandungan sulfur	%	-	-		Max 30	
17	Berat molekul		806-890	270-296		<u>+</u> 200	
18	Kandungan abu	% berat	0,057	0,022		< 0,01	

Sumber: R. Handoyo, et al. (2007:60)



Gambar 2.5 Minyak Kapuk Sumber: Anonymous D

Struktur kimia minyak nabati secara umum terdiri dari trigliserida dan 3 cabang asam lemak, dengan gliserol sebagai rantai utama. Asam lemak adalah rantai hidrokarbon lurus dan panjang yang berisi 8 hingga 24 rantai karbon, dimana salah satu ujungnya adalah COOH atau asam Carbocylic. Asam lemak dibedakan berdasarkan panjang dari rantai karbon dan ikatan rangkap yang dimiliki. Beberapa macam asam lemak beserta struktur kimianya dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Struktur Kimia dan Nama Berbagai Asam Lemak

Asam lemak	ı lemak Nama Sistematik		Rumus Molekul
Laurat	Dodekanoat	12:0	$C_{12}H_{24}O_2$
Linoleat	Cis-9,cis-12-oktadekanoat	18:2	$C_{18}H_{32}O_2$
Linolenat Cis-9,cis-12,cis-15-oktadekanoat		18:3	$C_{18}H_{30}O_2$
Miristat	Tetraekanoat	14:0	$C_{14}H_{28}O_2$
Oleat	Cis-9-oktadekanoat	18:1	$C_{18}H_{34}O_2$
Palmitat Hexadekanoat		16:0	$C_{16}H_{32}O_2$
Stearat	Oktadekanoat	18:0	$C_{18}H_{38}O_2$

Sumber: Joelianingsih (2006:23)

Beberapa keunggulan minyak kapuk sebagai minyak nabati diantaranya adalah:

- a. Minyak kapuk adalah bahan bakar yang dapat diperbaharui (renewable).
- b. Minyak kapuk adalah bahan bakar ekonomis pengganti bahan bakar fosil yang ramah lingkungan.
- c. Memiliki sifat fisika-kimia yang sesuai dengan bahan baku untuk menghasilkan bahan bakar.
- d. Minyak kapuk bukan termasuk minyak pangan.

Komposisi minyak kapuk sendiri berdasarkan beberapa referensi ditunjukkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Komposisi Minyak Kapuk

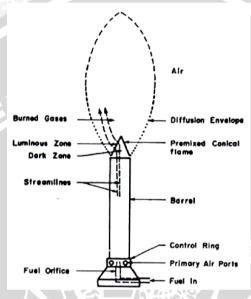
		1 abc1 2.3	ixomposisi i	viiiiyak ixa	puk		
Asam	Prosentase Berat (%)						
Lemak	Joelianin	Jamieson,	Handoyo	ISO-	Moninder	Widiyant	Shiv
	gsih	Baughman	(2007)	Austria	(2003)	o (2010)	(1979)
	(2006)	(1920)		(2012)			SBI
Arachidat	W-H-	0,8		477	M-ME		TEX
Linoleat	57,4	29,3	-	31,15	31,15	44,86	
Linolenat	12 - 2	P -	-	-	-	3,11	
Miristat		0,5	-	-	-	4.1	0,25
Oleat	13	49,8	43,62	51,35	51,35	24,01	21,88
Palmitat	28,7	15,9	22,11	10,65	10,65	22,88	24,31
Stearat	0,9	2,3	24,25	6,75	6,75	2,09	2,65

2.3 Bunsen Burner

Bunsen Burner merupakan alat pembakar yang dapat menghasilkan nyala api premixed. Alat ini pertama kali ditemukan oleh Robert William Bunsen (1811-1899) pada tahun 1855. Alat ini pada prinsipnya menggunakan pengaturan aliran campuran udara dan bahan bakar gas secara kontinyu. Skema bunsen burner ditunjukkan pada gambar 2.6. Bahan bakar gas masuk ke dalam burner melalui pipa saluran masuk di dasar burner, dimana ujung pipa berbentuk nozzle agar bahan bakar gas dapat langsung bercampur baik dengan udara yang masuk secara radial lewat control ring. Selama melewati tabung pembakar (barrel), udara dan bahan bakar gas akan bercampur dengan baik dan mengalir keluar dari ujung tabung pembakar secara kontinyu.

Saat aliran campuran udara dan bahan bakar diberi energi panas yang cukup, maka akan terjadi reaksi pembakaran disertai nyala api (*flames*). Selama laju perubahan reaksi (*rate of reaction*) serta laju aliran udara dan bahan bakar dipertahankan konstan, maka nyala api *premixed* akan tetap stabil. Pada daerah *luminous* terjadi reaksi dan pelepasan energi panas (eksoterm) sebagai entalpi gas yang terbakar, sedangkan di bawahnya terdapat daerah gelap (*dark zone*), yaitu tempat dimana molekul gas yang belum terbakar berubah alirannya dari arah sejajar sumbu tabung pembakar ke arah luar tegak lurus permukaan batas daerah gelap. Selanjutnya gas yang belum terbakar mendapat energi panas sepanjang daerah pemanasan awal (*preheating zone*:η₀) sampai temperatur nyala (*ignition temperature*: Ti) tercapai dan kemudian bereaksi dengan

cepat sepanjang tebal daerah reaksi (reaction zone: η_R), disertai pelepasan energi panas yang lebih besar lagi hingga mencapai temperatur nyala api (flame temperature: T_f). Warna daerah *luminous* biasanya berubah menurut rasio udara dan bahan bakar. Jika rasio campuran kurus (lean mixture) maka warna permukaan kerucut nyala luminous adalah ungu, menandakan banyak dihasilkan CH radikal. Jika rasio campuran kaya bahan bakar (rich mixture) maka permukaan kerucut nyala luminous berwarna hijau mendekati kebiruan, menandakan banyaknya konsentrasi molekul C₂.



Gambar 2.6 Skema Bunsen Burner Sumber: Rachmat Harris (2008)

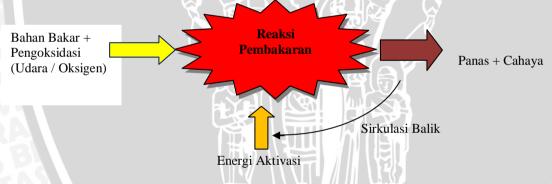
2.4 Proses Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia yang cepat antara pengoksidasi (udara atau oksigen) dan bahan yang dapat terbakar, disertai timbulnya cahaya dan menghasilkan kalor. Syarat terjadinya pembakaran adalah ada bahan bakar, pengoksidasi (udara atau oksigen), dan energi aktivasi. Enegi aktivasi adalah energi yang dibutuhkan untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar. Jumlah energi yang dibutuhkan untuk memutuskan satu mol ikatan kimia bahan bakar disebut energi disosiasi (kJ/mol). Pembakaran spontan adalah pembakaran dimana bahan mengalami oksidasi perlahanlahan sehingga kalor yang dihasilkan tidak dilepaskan, akan tetapi dipakai untuk menaikkan suhu bahan bakar secara perlahan hingga mencapai suhu nyalanya. Pembakaran sempurna adalah pembakaran dimana semua bahan yang dapat terbakar di dalam bahan bakar membentuk gas CO₂, air (H₂O), dan gas SO₂, sehingga tidak ada lagi bahan yang dapat terbakar tersisa.

Penentuan perbandingan udara dan bahan bakar sangatlah penting untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna. Di dalam reaksi pembakaran untuk menghasilkan panas dibutuhan Oksigen sehingga pembakaran udara bebas yang telah dipanaskan terlebih dahulu akan meningkatkan efisiensi. Adanya kandungan nitrogen dalam udara sebesar 79% dapat mengurangi efisiensi pembakaran karena :

- Menyerap panas dari pembakaran bahan bakar
- Mengurangi transfer panas pada permukaan gas buang
- Meningkatkan volume hasil samping pembakaran
- Pada suhu pembakaran yang tinggi, nitrogen dapat bereaksi dengan oksigen untuk membentuk senyawa nitro oxide (NOx) yang merupakan pencemar beracun.

Panas atau energi yang dipakai untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar disebut sebagai energi aktivasi. Energi aktivasi bisa dari percikan busi (*spark*) atau bisa juga diambil dari proses pembakaran kontinyu. Pada proses pembakaran kontinyu, umumnya energi di ambil dari panas hasil pembakaran lewat cara radiasi atau cara konveksi (sirkulasi balik) seperti terlihat pada gambar 2.7.



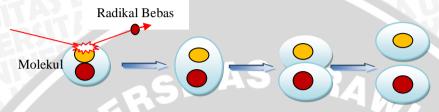
Gambar 2.7 Ilustrasi Proses Pembakaran Sumber: Wardana (2008:3)

2.5 Reaksi Kimia pada Proses Pembakaran

Pada proses pembakaran terjadi reaksi kimia yang kompleks antara bahan bakar dan pengoksidasi. Kondisi dimana dicapai pembakaran yang sempurna disebut dengan pembakaran stoikiometri, maka pembakaran stoikiometri dapat dikatakan pembakaran yang mana semua atom dari bahan bakar dan pengoksidasi bereaksi seluruhnya (sempurna) menghasilkan berbagai produk CO₂, H₂O, dan N₂.

Agar reaksi pembakaran bisa berlangsung maka molekul - molekul bahan bakar dibuat bermuatan dengan cara memutus ikatan kimia suatu bahan bakar menjadi

molekul bermuatan atau disebut ion. Molekul bermuatan akibat pemutusan ikatan molekul-molekul disebut radikal bebas. Radikal bebas jika menghantam (menumbuk) molekul lainnya dapat menyebabkan jarak ikatan molekul tersebut merenggang dan mengerut secara periodik seperti terlihat pada gambar 2.8. Dengan tambahan sedikit energi dari luar pada saat jarak ikatan atom dalam keadaan merenggang dapat menyebabkan atom-atom dalam molekul terputus dan bermuatan. Jadi radikal bebas sangat berperan membantu proses reaksi di dalam pembakaran.



Gambar 2.8 Keadaan Molekul ketika Tertabrak Radikal bebas Sumber: Wardana (2008:5).

Berdasarkan hukum Newton bahwa besar gaya tarik menarik dua buah masa berbanding terbalik dengan jaraknya. Semakin kecil jarak antar atom maka ikatan antar atomnya semakin kuat, sebaliknya jika jarak antar atom semakin renggang maka ikatan antar atomnya semakin lemah. Ikatan rangkap lebih kuat dari pada ikatan tunggal, dan ikatan tripel lebih kuat dari pada ikatan rangkap dan seterusnya.

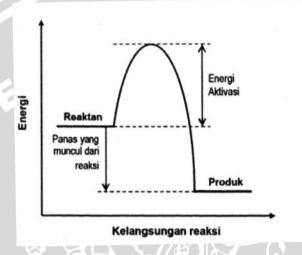
Ada beberapa cara untuk memutus ikatan atom dalam molekul atau membuat molekul bermuatan diantaranya adalah :

- 1. Dengan pemanasan, gerakan molekul-molekul bahan bakar dan pengoksidasi menjadi lebih cepat dan tumbukan molekul menjadi sangat keras. Akibatnya beberapa atom dengan ikatan lemah lepas.
- 2. Merangsang elektron yang mengikat atom-atom dalam molekul dengan katalis sehingga ikatan atom akan putus atau elektron dirangsang oleh katalis supaya meninggalkan molekul sehingga molekul tersebut menjadi peceh dan bermuatan.
- 3. Mengganggu elektron dengan medan magnet sehingga tidak lagi mengorbit pada inti atom dan meninggalkan molekul sehingga ikatan atom dalam molekul lepas dan molekul menjadi bermuatan.

Cara – cara elektron ini akan secara langsung mengganggu elektron yang merupakan pengikat molekul. Jika elektron-elektron meninggalkan molekul maka molekul tersebut akan bermuatan atau bahkan pecah menjadi beberapa molekul atau atom yang bermuatan.

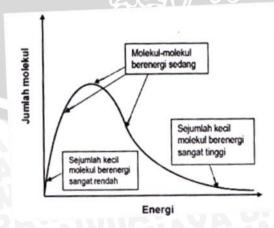
2.6 Energi Aktivasi

Energi aktivasi adalah energi minimum yang digunakan untuk berlangsungnya suatu reaksi (Wardana;2008:104). Jika antar molekul bertumbukan dengan energi lebih rendah dari energi aktivasi maka reaksi tidak akan terjadi. Molekul-molekul yang bergerak tadi akan kembali pada keadaannya semula. Jadi reaksi dapat berlangsung jika tumbukan memiliki energi aktivasi yang sama atau lebih besar dari energi aktivasinya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9. Apabila tumbukan antar molekul tersebut kurang serta energi aktivasinya rendah maka reaksi akan sulit terjadi.



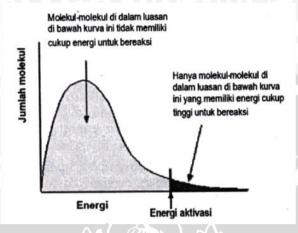
Gambar 2.9 Peran Energi Aktivasi dalam Proses Reaksi Sumber: Wardana (2008:105)

Dari gambar 2.9 diatas dapat dilihat bahwa agar reaktan dapat bereaksi, dibutuhkan sejumlah energi aktivasi sehingga dihasilkan panas dari reaksi dan produk sampingan. Dalam berbagai sistem, keberadaan molekul-molekul memiliki variasi besar energi yang dapat ditunjukkan pada distribusi Maxwell-Boltzmann. Pada gambar 2.10, luas daerah dibawah kurva menunjukkan banyaknya molekul yang terkandung.



Gambar 2.10 Distribusi Maxwell-Boltzmann Sumber: Wardana (2008:105)

Pada gambar 2.11 memperlihatkan bahwa distribusi Maxwell-Boltzmann juga dapat diketahui posisi energi aktivasi. Semakin besar molekul maka kondisi tersebut tidak memiliki energi yang cukup untuk bereaksi saat terjadi tumbukan.untuk membuatnya bereaksi adalah dengan memindahkan energi aktivasi lebih ke kiri, misalnya dengan penambahan tekanan pada molekul.



Gambar 2.11 Posisi Energi Aktivasi dalam Distribusi Maxwell-Boltzmann Sumber: Wardana (2008:106)

2.7 Energi Disosiasi

Energi disosiasi adalah energi yang digunakan untuk memisahkan atom-atom penyusun molekul. Setiap molekul memiliki energi ikatan yang berbeda-beda. Menurut hukum Newton bahwa gaya tarik menarik antar dua massa berbanding terbalik dengan jarak antar massa tersebut. Semakin kecil jarak antar massa maka gaya tarik menariknya akan semakin besar , sehingga jika suatu molekul memiliki jarak atom yang kecil memiliki energi disosiasi yang besar, begitu pula sebaliknya.

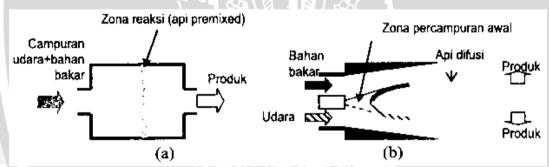
2.8 Pembakaran Premixed

Pembakaran adalah reaksi bahan bakar dari pengoksidasi (oksigen/udara), yang menghasilkan panas. Pembakaran bisa terjadi kalau menemuhi syarat-syarat : Keseimbangan masa *(stoichiometry)*, kesetimbangan termodinamika dan kinetik (Wardana, 2008) pembakaran diklasifikasikan menjadi dua yaitu : pembakaran mekanik atau pembakaran *premixed* dan pembakaran natural atau pembakaran difusi.

Pembakaran umumnya ditentukan oleh tiga karakter, karakter yang pertama ditentukan cara reaktan terbakar didalam zona reaksi. Karakter kedua ditentukan oleh prilaku aliran aerodinamika dan karakter yang ketiga ditentukan oleh keadaan fisik awal

dari bahan bakar, apakah terbentuk padat, cair atau gas. Pada karakter pertama jika reaktan (bahan bakar dan udara) bercampur sebelum masuk ke zona reaksi maka pembakaran tersebut adalah pembakaran *premixed*. Sedangkan apabila reaktan tidak tercampur sebelum terbakar maka pembakaran ini termasuk pembakaran difusi karena pencampuran bahan bakar dan udara yang berlangsung di zona reaksi adalah akibat difusi molekul Seperti terlihat pada gambar 2.12 dimana gambar tersebut memberikan ilustrasi pembakaran premixed dan pembakaran secara difusi.

Pada pembakaran *premixed* terjadi perambatan gelombang pembakaran yang disebut dengan *flame front*. Gelombang pembakaran merambat ke arah reaktan dibelakang gelombang pembakaran terbentuk produk pembakaran.Pada gambar 2.12(a) reaktan (bahan bakar dan udara) bercampur sebelum masuk ke zona reaksi. Proses reaksinya berlangsung sangat cepat biasanya pada tekanan tetap. Setelah melewati zona reaksi reaktan menjadi produk. Zona reaksi sangat tipis yang disebut api *premixed*. Api *premixed* akan merambat menuju kearah reaktan dengan kecepatan unik. Jika kecepatan reaktan sama dengan kecepatan rambatan api maka api (zona reaksi) akan stasioner.



Gambar 2.12 Cara Reaktan Terbakar pada Pembakaran Premix dan Difusi Sumber: Wardana (2008:149)

Sedangkan gambar 2.12(b) pada pembakaran difusi, bahan bakar dan udara masuk ke dalam ruang bakar melalui saluran yang berbeda dan keluar dalam bentuk produk setelah terbakar di zona reaksi. Bahan bakar dan udara bercampur di zona reaksi akibat difusi molekul dan setelah bercampur sempurna kemudian langsung terbakar. Sebelum api difusi terbentuk terlebih dahulu bahan bakar dan udara bercampur di daerah pencampuran awal dan terbakar membentuk api *premixed* sebagian. Api *premixed* pada sisi bahan bakar menjadi kaya bahan bakar dan yang disisi udara menjadi api kaya udara atau api miskin bahan bakar, peran api *premixed* sebagai penyetabil api difusi. Api difusi tidak bisa merambat menuju ke bahan bakar karena kekurangan oksigen demikian juga sebaliknya tidak bisa merambat ke udara karena

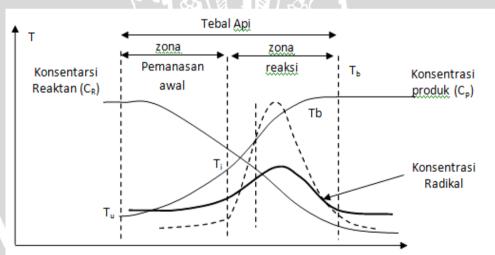
kekurangan bahan bakar. Posisi api difusi ada pada daerah campuran udara bahan bakar stokiometri.

Karakter yang kedua saat reaktan melintasi zona reaksi yakni apabila alirannya laminer turbulen. Pada pembakaran laminer semua proses campuran dan proses penjalaran reaktan maupun panas terjadi secara molekuler. Dan pada pembakaran turbulen semua proses pencampuran dan proses penjalaran di bantu oleh gerakangerakan pusaran-pusaran aliran turbulen. Dan pada karakter yang ketiga ditentukan pada kondisi awal dari bahan bakar.

Dalam gelombang pembakaran terdapat dua zona yaitu:

- 1. Zona pemanasan awal (preheat zona). Daerah dimana sedikit panas dilupakan dan masih banyak bahan bakar yang belum terbakar (unburn fuel).
- 2. Zona reaksi (reaction zona) Daerah dimana sebagain besar energi kimia dilepaskan.

Seperti terlihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Detail Struktur di Dalam Api Premixed Sumber: Wardana (2008:155)

Keterangan gambar:

 C_R = konsentrasi reaktan T_i = temperatur intermediate

 C_P = konsentrasi produk $T_b = temperatur produk$

U = distribusi kecepatan gas T = distribusi temperatur

 $T_u = temperatur reaktan$

Distribusi konsentrasi konsentrasi produk, reaktan, konsentarsiradikal, temperatur dan kecepatan gas seperti terlihat pada gambar 2.13. Radikal akan selalu muncul pada zona reaksi sebagai konsekuensi dari reaksi tersebut. Dalam api terjadi gradien temperatur, dimana temperatur produk lebih tinggi dari temperatur reaktan. Oleh karena itu berdasarkan hukum termodinamika maka akan terjadi transfer panas dari produk ke reaktan. Transfer panas yang terus menerus tersebut akan meningkatkan temperatur reaktan. Jika temperatur reaktan meningkat maka daerah pemanasan awal akan bergeser ke kiri, sedangkan zona yang terjadi menjadi zona pemanasan awal temperaturnya akan lebih tinggi sehingga terjadi pembakaran. Peristiwa ini terjadi secara kontinyu sehingga api merambat ke arah reaktan. Kecepatan rambatan api tersebut disebut kecepatan pembakaran. Kecepatan pembakaran dalam pembakaran premixed biasanya di beri notasi S_L

2.9 Kecepatan Pembakaran

Kecepatan pembakaran merupakan gelombang pembakaran (api) menuju reaktan yang terjadi karena adanya gradien temperatur antara produk yang memiliki temperatur tinggi dan reaktan yang memiliki temperatur rendah, sehingga terjadi trnsfer panas dari produk ke reaktan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan pembakaran diantaranya adalah:

- a. Turbulensi aliran untuk pengadukkan bahan bakar dan udara.
- b. Luas daerah kontak reaksi antara bahan bakar dan udara.
- c. Temperatur pembakaran.
- d. Katalis

2.10 Pembakaran Stoikiometri

Pembakaran stoikiometri adalah pembakaran dimana semua atom dari pengoksidasian beraksi secara kimia untuk menjadi produk, pengoksidasian yang paling lazim adalah campuran 21% udara dan 79 % nitrogen (fraksi mol atau volume). Persamaan reaksi pembakaran stoikiometri dari minyak kapuk dengan udara ditunjukkan pada persamaan (2-1) berikut:

$$0,574C_{18}H_{32}O_2 + 0,13C_{18}H_{34}O_2 + 0,287C_{16}H_{32}O_2 + 0,009C_{18}H_{38}O_2 + 24,5045(O_2 + 3,76N_2) \longrightarrow 17,426CO_2 + 16,157H_2O + 92,1369N_2$$
(2-1)

Pada kondisi yang umum udara yang dipakai untuk mengoksidasi bahan bakar pada kenyataannya mengandung Oksigen (O2), Nitrogen (N2), Argon (Ar), Karbon dioksida (CO₂), Uap air (H₂O), uap air (H₂O) dan sejumlah gas dalam bagian yang

cukup kecil. Udara yang normal merupakan campuran gas-gas meliputi 78 % N2; 20 % O2; 0,94 % Ar; 0,03 % CO₂ sedangkan gas-gas lainnya sangat kecil konsentrasinya.

Agar lebih memudahkan perhitungan dalam reaksi pembakaran, dapat dipakai asumsi udara terdiri 21 % O_2 dan 79% N_2 . Oleh karena itu, pada reaksi pembakaran dengan udara, penggunaan 1 mol O_2 akan melibatkan penggunaan $\left(\frac{79,0}{21,0}\right) = 3,76$ mol N_2 . Untuk dapat mencapai pembakaran yang sempurna semua atom C diharapkan dapat terbakar menjadi CO_2 dan semua atom H_2 dapat terbakar menjadi H_2O .

2.10.1 Campuran udara dan bahan bakar

Dalam suatu proses pembakaran beberapa hal penting yang perlu diperhatikan antara lain bahan bakar, udara (oksigen) kalor, dan reaksi kimia. Selain itu, perbandingan campuran bahan bakar dan udara memegang peranan yang penting pula dalam menentukan hasil proses pembakaran itu sendiri yang secara langsung mempengaruhi reaksi pembakaran yang terjadi serta hasil keluaran (produk) proses pembakaran. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menghitung rasio campuran bahan bakar dan udara antara lain AFR (Air-fuel Ratio), dan Rasio Ekivalen Φ.

2.10.2 Rasio udara dan bahan bakar (Air-fuel Ratio/AFR)

Parameter pembakaran lain yang penting perannya adalah rasio udara/bahan bakar (air- $fuel\ ratio$) dari suatu reaksi dengan persamaan (2-2) dimana n adalah jumlah mol sedangkan m_r adalah berat molekul.

$$(AFR)_{stoc} = \left(\frac{M_{udara}}{M_{bahan \ bakar}}\right)_{stioc}$$

$$AFR = \frac{n.(mr(o_2 + 3.76N_2))}{n_1.(mr(c_{18} + H_{32} + o_2)) + n_2.(mr(c_{18} + H_{34} + o_2)) + n_3.(mr(c_{16} + H_{32} + o_2)) + n_4.(mr(c_{18} + H_{38} + o_2))}$$

$$AFR = \frac{24.5045.(32 + (3.76.28))}{0.574.((12.18) + 32 + 32) + 0.13.((12.18) + 34 + 32) + 0.287.((12.16) + 32 + 32) + 0.009.((12.18) + 38 + 32))}$$

$$AFR = \left(\frac{3363.97776}{273.426}\right) = 12,303 \text{ (kg}_{udara}/\text{kg}_{bahan \ bakar})$$

Berdasarkan perhitungan *AFR* pada persamaan (2-2), jadi *Air Fuel Ratio* (*AFR*) stoikiometri minyak kapuk yaitu 12,303 : 1

2.10.3 Rasio ekivalen (Equivalent Ratio, Φ)

Metode ini termasuk juga metode yang umum digunakan. rasio ekivalen didefenisikan sebagai perbandingan antara rasio udara-bahan bakar (AFR)

stoikiometrik dengan rasio bahan bakar dan udara (AFR), dituliskan dengan persamaan (2-3).

$$\Phi = \frac{AFR_s}{AFR_a} \tag{2-3}$$

Dimana AFR_s adalah AFR stoikiometri yang didapat dari persamaan (2-2), sedangkan AFR_a adalah perhitungan AFR yang didapat dari hasil penelitian yaitu membagi massa alir udara dengan massa alir bahan bakar. Massa alir udara didapat dari debit aliran udara dikali densitas udara, sedangakan massa alir bahan bakar didapat dari debit aliran bahan bakar dikali debit aliran udara. $Equivalent\ ratio$ adalah rasio kesetaraan yang menyatakan suatu pembakaran itu kaya bahan bakar, miskin bahan bakar, atau campuran stoikiometri.

- $\Phi > 1$ terdapat kelebihan bahan bakar dan campurannya disebut sebagai campuran kaya bahan bakar (*fuel-rich mixture*)
- Φ < 1 campurannya disebut sebagai campuran miskin bahan bakar (fuel-lean mixture)
- $\Phi = 1$ merupakan campuran stoikiometri (pembakaran sempurna)

2.11 Angka Lewis

Angka Lewis merupakan angka yang menunjukkan perbandingan antara difusivitas massa dengan difusivitas panas. Pada pembakaran *premixed*, kalor yang dihasilkan dari reaksi antara bahan bakar dan udara berdifusi menuju reaktan yang belum terbakar. Reaktan yang merupakan campuran bahan bakar dan udara juga berdifusi dan saling bertumbukan antar atomnya. Lewis membuat hubungan antara difusivitas massa dengan difusivitas panas seperti pada persamaan (2-4).

$$Le = \frac{D}{a} \tag{2-4}$$

Keterangan:

Le = angka Lewis

D = difusivitas massa (m^2/s)

 α = difusivitas panas (m²/s)

Difusivitas panas didefinisikan sebagai laju perambatan panas secara difusi pada suatu partikel dan dirumuskan pada persamaan (2-5) dan (2-6) berikut:

$$\alpha = \frac{k}{c_w} \tag{2-5}$$

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot c_p} \tag{2-6}$$

Keterangan:

k = konduktivitas panas (J/m.s.⁰C)

 C_w = kapasitas panas volumetrik (J/m^{3.0}C)

 ρ = massa jenis (kg/m³)

 $C_p = panas jenis (J/kg.^0C)$

2.12 Hipotesa

Perubahan AFR akan mempengaruhi karakteristik pola nyala api, semakin tinggi AFR maka kecepatan dan temperatur api semakin meningkat. Jika AFR terus ditingkatkan maka api akan terangkat (*lift off*) kemudian padam (*blow off*).



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*) yang langsung digunakan ke objek yang diteliti. Objek yang diteliti didapatkan data-data yang kemudian di plot dalam suatu diagram sehingga membentuk suatu pola kecenderungan tertentu yang nantinya dapat dibandingkaan dan diambil suatu kesimpulan tentang objek yang diteliti.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Variabel bebas (independent variable)

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sendiri oleh peneliti dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Adapun yang merupakan variabel bebas dalam penelitian ini adalah *Air Fuel Ratio* (AFR) 0,143:1; 0,978:1; 1,526:1; 1,980:1; 2,382:1; 2,750:1; 3,091:1; 3,413:1; 3,719:1; 4,011:1; 4,292:1.

2. Variabel terikat (*dependent variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas dan besarnya dapat diketahui setelah penelitian dilakukan. Adapun variabel terikat dalam penelitian ini yaitu kecepatan api, geometri api, warna api dan temperatur api.

3. Variabel terkontrol

Parameter yang dijaga tetap selama pengujian adalah:

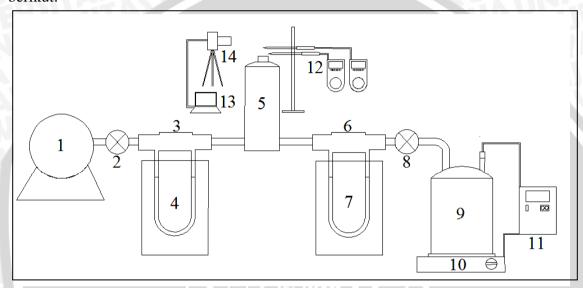
- 1. Temperatur lingkungan 27 °C.
- 2. Bahan Bakar yang digunakan adalah minyak kapuk.
- 3. Volume *burner* tetap.
- 4. Suhu pemanasan minyak kapuk dijaga konstan 160°C

3.3 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 15 Oktober 2012 sampai dengan 21 November 2012, bertempat di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

3.4 Skema Instalasi Penelitian

Instalasi alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Skema Instalasi Penelitian

Keterangan:

- 1. Kompresor
- 2. Katup Udara
- 3. Orifice Udara
- 4. Manometer Udara
- 5. Burner
- 6. Orifice Bahan Bakar
- 7. Manometer Bahan Bakar

- 8. Katup Bahan Bakar
- 9. Ketel
- 10. Kompor Listrik
- 11. Thermostat
- 12. Thermometer
- 13. Komputer
- 14. Kamera

3.5 Prosedur Pengambilan Data

Sebelum melakukan pengambilan data kita perlu menghitung terlebih dahulu beda ketinggian permukaan air pada manometer bahan bakar dan manometer udara untuk memudahkan dalam memperoleh AFR yang telah ditentukan. Massa aliran bahan bakar dijaga konstan dengan melihat beda ketinggian air pada manometer bahan bakar, diatur dengan bukaan katup bahan bakar. Sedangkan untuk AFR diatur dengan melihat

beda ketinggian air pada manometer udara, diatur dengan bukaan katup udara. Rumus perhitungan AFR ditunjukkan pada persamaan (3-1).

$$AFR = \frac{\dot{\mathbf{m}}_{ud}}{\dot{\mathbf{m}}_{bb}} = \frac{\rho_{ud} \cdot Q_{ud}}{\rho_{bb} \cdot Q_{bb}} \tag{3-1}$$

Dari kalibrasi diketahui bahwa dengan beda ketinggian air pada manometer udara menunjukkan 0,1cm maka didapat nilai Qud sebesar 2,844ml/dt. Untuk debit bahan bakar dijaga konstan sebesar 12,214ml/dt. Sehingga AFR pada beda ketinggian air manometer udara 0,1cm dapat dilihat pada persamaan (3-2).

$$AFR = \frac{\rho_{ud} \cdot Q_{ud}}{\rho_{bb} \cdot Q_{bb}} = \frac{0,0016gr/ml \cdot 2,844ml/dt}{0,0019gr/ml \cdot 12,214ml/dt} = \frac{0,003gr/dt}{0,023gr/dt} = \frac{0,143}{1}$$
(3-2)

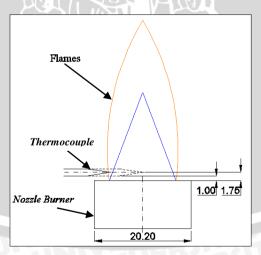
Perhitungan AFR untuk beda ketinggian air pada manometer udara sebesar 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, dan 20cm juga didapat dari contoh perhitungan AFR pada persamaan (3-2).

Setelah perhitungan AFR siap, langkah berikutnya adalah menjaga temperatur ruangan agar 27°C. Caranya yaitu dengan memberikan ventilasi udara yang cukup sehingga temperatur ruangan saat penelitian berlangsung terjaga pada 27°C. Besarnya temperatur ini ditunjukkan pada thermometer yang ada di Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang tempat dimana penelitian berlangsung.

Urutan pelaksanaan pengambilan data adalah sebagai berikut:

- 1. Menyusun dan mempersiapkan semua peralatan sesuai dengan instalasi penelitian yang direncanakan.
 - a. Menyambung semua instalasi peralatan dan memastikan bahwa semua sambungan telah terpasang dengan kuat.
 - b. Menyetel bukaan pada kompresor agar udara bertekanan yang masuk ke instalasi penelitian nantinya sesuai dengan kebutuhan dan tidak sampai merusak instalasi penelitian.
 - Katup udara posisikan terbuka sedikit dan katup bahan bakar posisi awal adalah tertutup penuh.
 - d. Mengatur posisi dan fokus kamera agar tepat saat pengambilan data.
 - e. Atur temperatur pada thermostat sebesar 160°C.
- 2. Pemasukkan minyak kapuk ke dalam ketel, langkah-langkahnya sebagai berikut:
 - Ambil minyak kapuk dari tempatnya dengan suntikan sebanyak 20 ml kemudian masukkan ke dalam ketel melalui lubang saluran masuk pada ketel.

- Lakukan langkah tersebut diatas sebanyak 3 kali sehingga volume minyak kapuk di dalam ketel sebanyak 60 ml.
- Tutup lubang saluran masuk ketel dengan penutup yang telah disediakan.
- 3. Setelah semua instalasi siap dan minyak kapuk telah dimasukkan ke dalam ketel, cek kembali apakah instalasi telah terpasang dengan benar dan aman.
- 4. Nyalakan kamera dan atur fokusnya.
- 5. Tancapkan kabel pada stopkontak sehingga kompor listrik dan sensor panas menyala.
- 6. Tunggu beberapa menit hingga uap minyak kapuk telah benar-benar terbentuk, kemudian atur bukaan katup bahan bakar sampai didapatkan beda ketinggian air pada manometer bahan bakar sesuai yang telah ditetapkan dan jaga posisinya agar tidak berubah-ubah selama proses pengambilan berlangsung.
- 7. Percikan api dengan korek api pada ujung nozzle hingga terbentuk nyala api.
- 8. Nyalakan kompresor dan buka katup udara perlahan hingga didapat beda ketinggian air pada manometer udara sesuai dengan yang telah ditetapkan dari perhitungan AFR.
- 9. Foto nyala api yang terbentuk dengan kamera.
- 10. Catat temperatur di tepi dan center burner. Pengukuran temperatur ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skema Pengukuran Temperatur Api

- 11. Ulangi langkah 9 dan 10 sebanyak 3 kali.
- 12. Lakukan langkah 11 untuk variasi AFR 0,143:1; 0,978:1; 1,526:1; 1,980:1; 2,382:1; 2,750:1; 3,091:1; 3,413:1; 3,719:1; 4,011:1; 4,292:1.

3.6 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah :

1. Burner

Alat ini digunakan untuk tempat mencampur uap minyak kapuk dan udara serta sebagai tempat berlangsungnya proses pembakaran.



Gambar 3.3 *Burner* Sumber: Dokumen Pribadi

2. Ketel

Alat ini untuk tempat penampungan dan penguapan minyak kapuk sebelum dialirkan menuju *burner*.



Gambar 3.4 Ketel Sumber: Dokumen Pribadi

3. Kompresor

Alat ini untuk mengkompresi udara dan mengalirkannya menuju burner untuk nantinya bercampur dengan uap minyak kapuk. Spesifikasi kompresor adalah sebagai berikut:

a. Merk : Sagola, Model 777, made in Spain

b. Daya : 0,08 HP

c. Tegangan : 240 Volt - 50 Hz - 1,85 A

d. Tekanan : 3 Bar, 43 Psi

e. Debit : 65 Liter/menit



Gambar 3.5 Kompresor Sumber: Dokumen Pribadi

4. Kompor Listrik

Alat ini digunakan untuk memanaskan minyak kapuk yang ada di dalam ketel hingga menjadi uap minyak kapuk dengan spesifikasi:

a. Merk : Maspion, Model S-300

b. Tegangan : 220 Volt – 50 Hz

c. Daya : 300 Watt / 600 Watt

d. Kode : US - KP - 08



Gambar 3.6 Kompor Listrik Sumber: Dokumen Pribadi

5. Katup Bahan Bakar

Alat ini untuk mengatur massa aliran uap minyak kapuk yang mengalir menuju orifice.



Gambar 3.7 Katup Bahan Bakar Sumber: Dokumen Pribadi

6. Katup Udara

Alat ini untuk mengatur massa aliran udara yang menuju orifice sehingga didapatkan AFR yang diinginkan.



Gambar 3.8 Katup Udara Sumber: Dokumen Pribadi

7. Orifice Bahan Bakar

Alat yang digunakan untuk mengetahui beda tekanan.



Gambar 3.9 Orifice Bahan Bakar Sumber: Dokumen Pribadi

8. Orifice Udara

Alat yang digunakan untuk mengetahui beda tekanan.



Gambar 3.10 *Orifice* Udara Sumber: Dokumen Pribadi

9. Manometer Bahan Bakar

Alat ini untuk mengetahui beda tekanan di orifice bahan bakar.



Gambar 3.11 Manometer Bahan Bakar Sumber: Dokumen Pribadi

10. Manometer Udara

Alat ini untuk mengetahui beda tekanan di orifice udara.



Gambar 3.12 Manometer Udara Sumber: Dokumen Pribadi

BRAWIJAYA

11. Kamera

Alat ini digunakan untuk mengambil atau merekam gambar api hasil pembakaran yang terjadi sehingga dapat digunakan untuk analisa visual. Dengan data spesifikasi sebagai berikut:

a. Sensor : Sensor 16.2 MP, CMOS, APS-C

b. Merk : Nikon D7000

c. *Movie resolution*: *HD movie*, 1080p – 24fps / 720p – 30fps, H.264

codec.

d. ISO range : ISO 100 - 6.400, expandable to 25.600



Gambar 3.13 Kamera Sumber: Dokumen Pribadi

12. Komputer

Digunakan untuk mengolah gambar citra api hasil jepretan kamera untuk selanjutnya didapatkan kecepatan dan tinggi api pada variasi AFR tertentu. Spesifikasi komputer yang digunakan adalah:

a. Brand : ASUS

b. Processor : Intel Core i3-2370M (2.4 Ghz - 3M Cache - 2 Cores)

c. Operating System: DOS

d. Memory : 4 GB DDR3

e. Hard Drive : 640 GB

f. Display : 14 HD Color Shine (LED) res (1366 x 768)

g. Video Card : Nvidia GeForce 610M : 2 GB DDR3

h. WiFi : 802.11 b/g/n

i. Bluetooth : Bluetooth 4.0

j. Webcam : 0.3 Mpx

k. I/O Ports : 1x USB 3.0, 2x USB 2.0, HDMI

1. Weight (Est) : 2.2 kg (with 6-cell battery)



Gambar 3.14 Komputer Sumber: Dokumen Pribadi

13. Minyak Kapuk

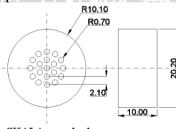
Digunakan untuk bahan bakarnya



Gambar 3.15 Minyak Kapuk Sumber : *Anonymous* D

14. Nozzle

Tempat dimana campuran udara dan bahan bakar mulai terbakar.



SKALA : 1:1 Satuan : mm

Gambar 3.16 Dimensi Nozzle

15. Spuit Suntik

Untuk memasukkan minyak kapuk cair kedalam ketel, volume spuit suntik adalah 20 ml.



Gambar 3.17 Spuit Suntik Sumber: Dokumen Pribadi

16. Thermometer

Alat untuk mengukur suhu api hasil pembakaran dengan spesifikasi:

a. Merk : Krisbow KW06-277

b. Range temperature : $-20^{\circ}\text{C} - 1000^{\circ}\text{C} \text{ or } -4^{\circ}\text{F} - 1832^{\circ}\text{F}$



Gambar 3.18 *Thermometer* Sumber: Dokumen Pribadi

17. Thermostat

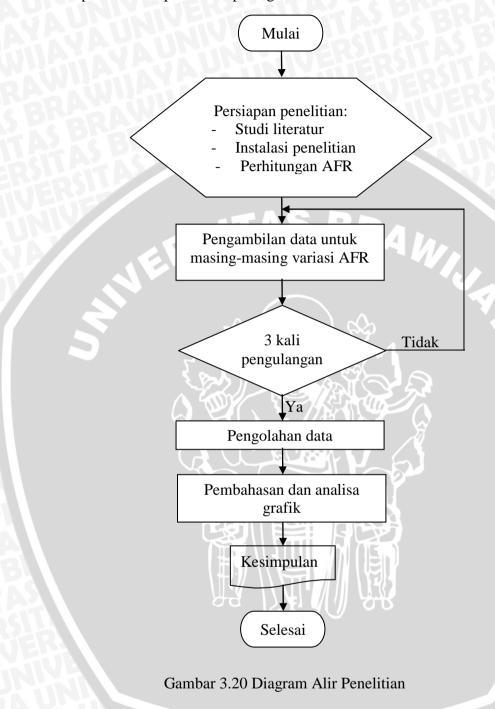
Alat ini digunakan untuk menjaga temperatur pemanasan minyak kapuk pada burner sebesar 160^{0} C.



Gambar 3.19 *Thermostat* Sumber: Dokumen Pribadi

3.7 Diagram Alir Penelitian

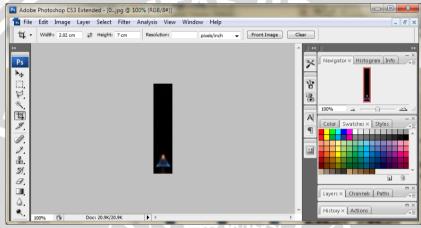
Alur penelitian dapat dilihat pada gambar 3.20 berikut:



BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

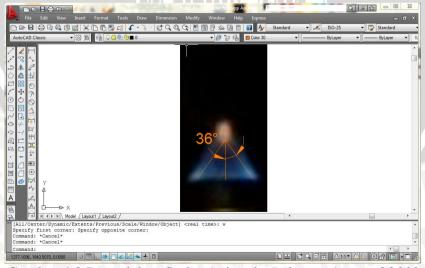
4.1 Pengolahan Data

Hasil rekaman nyala api pembakaran campuran uap minyak kapuk dan udara yang berupa foto, dipotong (*crop*) dengan menggunakan *software Adobe Photoshop* dengan ukuran lebar (*width*) 2,02cm (ukuran sebenarnya dari diameter *nozzle*) dan tinggi (*height*) sekitar 5-10cm (sesuai kebutuhan), sehingga hasil potongan gambar yang didapat nantinya telah sesuai dengan ukuran sebenarnya. Pada gambar 4.1 berikut ditampilkan contoh pengolahan visualisasi api pada *software Adobe Photoshop*.



Gambar 4.1 Pengolahan Visualisasi Api pada Software Adobe Photoshop

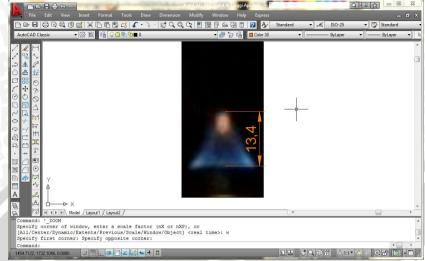
Gambar hasil dari *software Adobe Photoshop* tersebut kemudian disusun berjajar sehingga akan nampak pergerakan api dimana saat mulai terbentuk nyala api hingga padam (*blow off*). Gambar potongan-potongan tersebut ditunjukan pada gambar 4.7.



Gambar 4.2 Pengolahan Sudut Api pada Software Autocad 2009

Untuk perhitungan kecepatan api, susunan gambar api yang telah dihasilkan kemudian dimasukkan kedalam *software Autocad 2009* seperti pada gambar 4.2,

sehingga dapat dicari sudut kerucut api. Dari sudut kerucut api tersebut dapat dihitung kecepatan apinya yaitu $S_L = U \sin \theta$ dimana S_L : kecepatan api (speed laminar (cm/dt)), U: kecepatan reaktan (cm/dt), dan θ : sudut kerucut api (0).



Gambar 4.3 Pengolahan Tinggi Api pada Software Autocad 2009

Begitu pula untuk geometri api, susunan gambar rambatan api dimasukkan kedalam software Autocad 2009 seperti pada gambar 4.3, kemudian diukur tinggi api tiap AFR tertentu untuk selanjutnya dianalisa geometri apinya.

4.2 Pembahasan

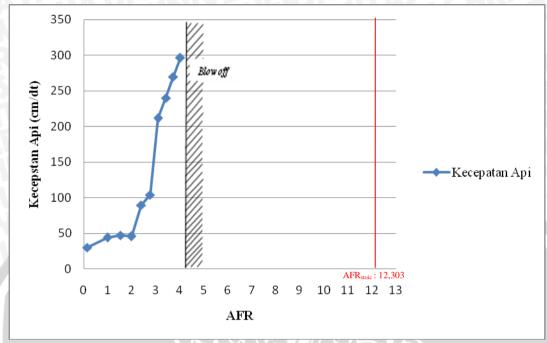
Pembahasan ini dilakukan untuk mendapatkan pola kecenderungan dari data hasil penelitian karakteristik pembakaran campuran uap minyak kapuk dan udara dengan berbagai variasi Air Fuel Ratio (AFR). Pada tabel 4.1 berikut adalah data hasil penelitian.

Tabel 4.1 Data Hasil Penelitian

1 WO 17 17 2 WW 12W31 7 THY 17W11							
AFR	S _L (cm/dt)	Tinggi (cm)	Temperatur Api (⁰ C)				
	SL (CIII dt)		Tepi Burner	Center Burner			
0,143 : 1	30,278	1,34	469	457			
0,978:1	44,115	2,584	471	437			
1,526 : 1	47,491	4,429	510	421			
1,980 : 1	45,771	3,747	490	315			
2,382:1	89,545	2,617	463	371			
2,750:1	104,107	2,02	521	297			
3,091:1	211,866	1,307	585	495			
3,413:1	240,147	0,602	430	395			
3,719:1	269,886	0,43	517	417			
4,011:1	296,347	0,264	570	455			
4,292 : 1		WELLIA					

4.2.1 Hubungan variasi Air Fuel Ratio (AFR) terhadap kecepatan api

Grafik hubungan variasi *Air Fuel Ratio (AFR)* terhadap kecepatan api dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut:



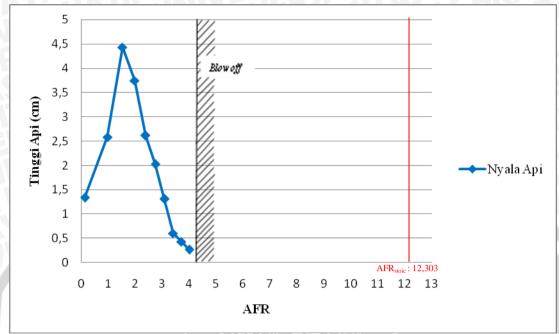
Gambar 4.4 Hubungan Variasi Air Fuel Ratio (AFR) Terhadap Kecepatan Api

Berdasarkan gambar 4.4 di atas dapat dilihat kecenderungan kecepatan api seiring meningkatnya nilai AFR 0,143:1; 0,978:1; 1,526:1; 1,980:1; 2,382:1; 2,750:1; 3,091:1; 3,413:1; 3,719:1; 4,011:1; 4,292:1 adalah meningkat. Meningkatnya kecepatan api seiring meningkatnya AFR dikarenakan fraksi massa yang semakin besar, menyebabkan kecepatan gas reaktan semakin tinggi. Selain itu disebabkan karena kerucut api yang terbentuk seiring meningkatnya AFR semakin besar sehingga menyebabkan kecepatan api meningkat. Pada AFR 1,980:1 kecepatan api sempat mengalami penurunan dari kecepatan api pada AFR 1,526:1, ini karena nilai dari sinθ yang menurun.

Pada AFR 4,292:1 api dalam kondisi *lift off*, sehingga dengan metode pengukuran kecepatan yang sama pada AFR sebelumnya tidak dapat diketahui secara pasti nilai kecepatannya. Diduga pada AFR 4,292:1 memiliki kecepatan api yang lebih tinggi dari kecepatan api pada AFR sebelumnya. Penyebab api terangkat atau *lift off* tersebut adalah karena difusivitas massa punya nilai yang lebih besar daripada nilai difusivitas panasnya.

4.2.2 Hubungan variasi Air Fuel Ratio (AFR) terhadap geometri api

Grafik hubungan variasi *Air Fuel Ratio (AFR)* terhadap geometri api dapat dilihat pada gambar 4.5 berikut:

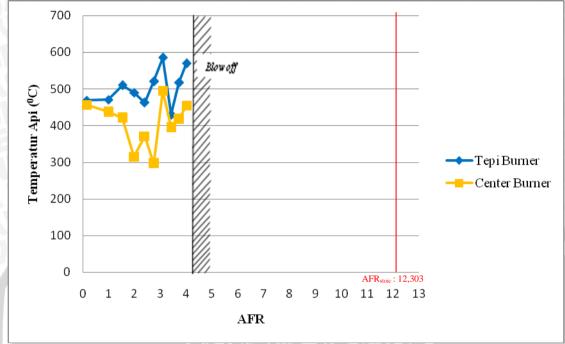


Gambar 4.5 Hubungan Variasi Air Fuel Ratio (AFR) Terhadap Geometri Api

Pada gambar 4.5 menunjukkan urutan tinggi api dari berbagai variasi AFR yaitu 0,143:1; 0,978:1; 1,526:1; 1,980:1; 2,382:1; 2,750:1; 3,091:1; 3,413:1; 3,719:1; 4,011:1; 4,292:1 dengan tinggi api masing-masing adalah 1,34 cm, 2,584 cm, 4,429 cm, 3,747 cm, 2,617 cm, 2,02 cm, 1,307 cm, 0,602 cm, 0,43 cm, 0,264 cm. Dimana semakin besar AFR maka debit aliran udara yang menuju *nozzle* semakin besar dengan debit bahan bakar yang tetap, sehingga fraksi massa juga akan bertambah. Hal ini yang menyebabkan tinggi api semakin besar dari AFR 0,143:1 hingga 1,526:1, namun turun dari AFR 1,980:1 hingga 4,011:1. Penurunan tinggi api ini disebabkan karena pembakaran yang terjadi semakin mendekati sempurna dimana sisa bahan bakar yang belum terbakar lalu terbakar secara difusi dengan udara sekitar mengalami penurunan. Pembakaran yang terjadi benar-benar pembakaran *premixed*, pembakaran difusi semakin berkurang sehingga nyala api yang terjadi hanya beberapa centimeter saja didekat *nozzle*.

4.2.3 Hubungan variasi Air Fuel Ratio (AFR) terhadap temperatur api

Grafik hubungan variasi Air Fuel Ratio (AFR) terhadap temperatur api dapat dilihat pada gambar 4.6 berikut:



Gambar 4.6 Hubungan Variasi Air Fuel Ratio (AFR) Terhadap Temperatur Api

Mengamati grafik pada gambar 4.6 di atas terlihat bahwa terjadi sedikit ketidakstabilan temperatur api pada tepi burner. Kondisi yang sama juga terjadi pada temperatur di center burner yang mengalami ketidakstabilan temperatur. Hal ini karena dipengaruhi oleh karakteristik dari uap minyak kapuk yang mudah sekali kehilangan panas dan mengembun, bisa saja ada beberapa uap minyak kapuk yang mengembun terlebih dahulu sebelum terbakar sehingga pasokan bahan bakar menuju burner menurun menyebabkan api yang terbentuk temperaturnya menurun. Membandingkan temperatur di tepi burner dan center burner terlihat bahwa secara umum di tepi burner memiliki temperatur yang lebih tinggi daripada temperatur di center burner. Hal ini dikarenakan zona reaksi pembakaran terjadi di tepi burner (nozzle) dan semakin ke pusat burner semakin ke atas, sehingga bila dilihat secara keseluruhan nyala api premixed ini membentuk nyala api kerucut. Temperatur di center burner (nozzle) lebih rendah karena daerah tersebut merupakan daerah pemanasan awal dimana menerima panas secara difusi dari zona reaksi. Pada daerah ini belum terjadi pembakaran atau belum terbentuk nyala api.

Secara keseluruhan terlihat bahwa api mengalami blow off (padam) pada AFR 4,292:1 sedangkan AFR stoikiometrinya yaitu 12,303:1, Artinya api padam sebelum mencapai AFR stoikiometri. Hal ini dikarenakan pembakaran yang terjadi dipengaruhi udara tambahan dari luar (udara sekitar) sehingga selain pembakaran premixed, sebagian terjadi pembakaran difusi.

4.2.4 Pola Api



Gambar 4.7 Pola Api dari Pembakaran Minyak Kapuk dan Udara

Pada gambar 4.7 diatas menyatakan urutan pola nyala api dengan berbagai variasi AFR yaitu 0,143:1; 0,978:1; 1,526:1; 1,980:1; 2,382:1; 2,750:1; 3,091:1; 3,413:1; 3,719:1; 4,011:1; 4,292:1. Nyala api berwarna biru menandakan pembakaran yang terjadi mendekati sempurna dimana sebagian besar didominasi pembakaran premixed. Warna kuning ini diakibatkan karena radiasi jelaga. Pada daerah berwarna kuning disebut juga daerah non-stoikiometri dimana pada daerah non-stoikiometri ini rasio campuran antara bahan bakar dan udara kurang dari 1. Akibat adanya radiasi karbon yakni jelaga mengakibatkan kecilnya kesempatan bahan bakar dan udara yang berperan sebagai oksidator untuk bertemu. Nyala api berwarna kuning menandakan pembakaran yang terjadi kurang atau menjauhi sempurna dimana didominasi oleh pembakaran difusi, sisa bahan bakar yang belum terbakar secara premixed terbakar kembali dengan udara sekitar secara difusi.

Pola api pada gambar 4.7 memperlihatkan kecenderungan dimensi api membesar dari AFR 0,143:1 hingga puncaknya AFR 1,526:1, kemudian dimensi api secara perlahan mengecil hingga akhirnya lift off lalu padam. Dimensi api membesar seiring ditambahkan udara dikarenakan udara mengikat molekul bahan bakar lebih banyak sehingga fraksi bahan bakar pada permukaan api meningkat. Meningkatnya fraksi bahan bakar ini mengakibatkan bahan bakar yang belum terbakar sempurna semakin banyak sehingga bahan bakar yang terbakar secara difusi dengan udara sekitar meningkat menyebabkan api semakin menjulang ke atas. Penambahan udara berdampak pada kecepatan reaktan dan difusivitas massa meningkat. Molekul-molekul campuran udara

dan bahan bakar saling bertumbukkan dan bergerak keluar nozzle dengan sangat cepat menyebabkan campuran udara dan bahan bakar tidak terbakar sepenuhnya, banyak bahan bakar yang terlewat dan akhirnya terbakar secara difusi. Setelah AFR 1,526:1, yaitu mulai AFR 1,980:1 dimensi api mulai mengecil perlahan hingga akhirnya padam. Kondisi ini karena pembakaran telah mulai mendekati sempurna sehingga api difusi yang terbentuk perlahan mulai lenyap hingga akhirnya hanya api premixed saja yang terbentuk.

Pada gambar pola api tersebut di atas bila kita amati api padam terlebih dahulu sebelum mencapai AFR stoikiometri. Hal ini dikarenakan efek pendinginan dari udara dimana udara menyerap kalor dari reaksi pembakaran yang terjadi sehingga zona pemanasan awalnya berkurang. Hal ini menyebabkan molekul campuran udara dan bahan bakar tidak cukup energi untuk berlangsungnya reaksi pembakaran sehingga api *lift off* dan kemudian padam.

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

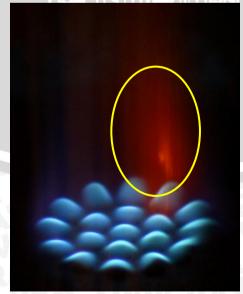


Gambar 4.8 Nyala Api pada AFR 1,980:1

Gambar 4.8 memperlihatkan nyala api yang berbentuk cells (daerah yang dilingkari). Ini merupakan salah satu fenomena ketidakstabilan api yang disebabkan karena komponen asam lemak bahan bakar minyak kapuk memiliki kecepatan pembakaran yang berbeda-beda. Ada beberapa komponen yang telah terbakar ditunjukkan dengan warna biru terang. Beberapa komponen lain yang belum terbakar ditunjukkan dengan warna gelap yang berarti bahwa daerah berwarna gelap tersebut belum terjadi pembakaran.

Warna biru gelap di sekitar biru terang menunjukkan bahwa pasokan udara untuk terjadinya pembakaran premixed kurang, sehingga lebih banyak bahan bakar yang terbakar secara difusi.

Berikutnya, gambar 4.9 adalah nyala api pada AFR 4,292:1. Api tersebut merupakan api dalam kondisi terangkat dari mulut nozzle (lift off) yang disebabkan difusivitas massa reaktan lebih tinggi dari difusivitas panas. Bila diperhatikan geometri apinya secara seksama, terlihat bentuk api yang berlapis-lapis (separated flames). Api separasi ini tervisualisasi dengan garis api berwarna biru terang di bagian atas (nomor 1) dan api berwarna agak gelap di sisi bawahnya (nomor 2). Struktur api separasi (separated flames) ini disebabkan oleh perbedaan homogenitas campuran yang akan membentuk daerah nyala apinya sendiri. Minyak kapuk sebagai bahan bakar yang terdiri dari beberapa asam lemak dengan ikatan atom C panjang dan berbeda antara asam lemak satu dengan asam lemak lainnya. Hal ini akan berdampak pada kemampuan reaksi yang berbeda pula, sehingga ikatan molekul dengan kemampuan bereaksi yang sama cenderung akan membentuk homogenitasnya sendiri. Itulah mengapa terbentuk struktur api separasi (separated flames).



Gambar 4.10 Nyala Api pada AFR 4,563:1

Pada gambar 4.10 diatas, didapatkan bahwa mulai terbentuk api berwarna merah (dilingkari). Warna merah tersebut mulai muncul pada AFR 3,719:1 hingga AFR 4,563:1. Api berwarna merah timbul karena adanya jelaga. Jelaga merupakan substansi yang belum sempat terbakar sempurna di zona reaksi dan masih terus terbakar hingga melewati zona reaksi. Bila diamati, terbentuknya warna merah tersebut terjadi pada AFR tertentu, berarti ada suatu substansi atau molekul yang terbakar hanya pada AFR tertentu saja.



BAB V PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil dan analisa pembahasan pengaruh *Air Fuel Ratio (AFR)* terhadap karakteristik api pembakaran *premixed* minyak kapuk pada *burner*, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Semakin besar nilai AFR atau campuran miskin bahan bakar menyebabkan kecepatan reaktan semakin bertambah besar. Terlihat pada grafik hubungan kecepatan dan AFR dimana kecepatan terus meningkat seiring peningkatan AFR.
- AFR mempengaruhi panjang api yang berkaitan dengan difusivitas massa, fraksi bahan bakar, dan kecepatan reaktan. Perubahan AFR menunjukkan tinggi api yang semakin besar hingga pada AFR 1,526:1 sebesar 4,429 cm, kemudian mengalami penurunan sampai api *lift off* kemudian padam.
- Pola warna api memberikan informasi pembakaran mendekati sempurna atau tidak. Warna biru mengindikasikan bahwa pembakarannya mendekati sempurna, sedangkan warna kuning mengindikasikan banyak terdapat bahan bakar yang belum terbakar dan terbakar secara difusi dengan udara.
- Variasi AFR berpengaruh pada temperatur api, baik pada tepi maupun *center burner*. Perbedaan temperatur pada tepi dan *center burner* memperlihatkan adanya zona reaksi pembakaran pada tepi *burner* yang ditunjukkan dengan nyala api berwarna biru. Sedangkan pada *center burner* menunjukkan zona pemanasan awal yang memiliki temperatur lebih rendah daripada temperatur di tepi *burner*. Kondisi ini terus berlangsung pada semua variasi AFR.
- Variasi Air Fuel Ratio (AFR) mempengaruhi pola api pembakaran premixed minyak kapuk dan udara. Dengan massa alir bahan bakar yang tetap, penambahan massa alir udara mempengaruhi perubahan AFR yang juga berpengaruh pada stabilitas api. Penambahan massa alir udara yang lebih besar menyebabkan difusivitas massa lebih besar dari difusivitas panas yang menimbulkan lift off hingga akhirnya api akan padam.

- Pembakaran minyak kapuk tidak dapat mencapai AFR stoikiometri karena pengaruh dari udara sekitar sehingga api padam sebelum mencapai kondisi AFR stoikiometri.
- Variasi AFR juga berpengaruh pada struktur nyala api pada Bunsen burner. Ketidakstabilan api akan menimbulkan flame cells. Jenis ikatan atom penyusun suatu bahan bakar berdampak pada homogenitas api yang membentuk api separasi (separated flames). Adanya bahan penyusun bahan bakar yang punya karakteristik terbakar pada AFR tertentu saja sehingga kadang terlihat visualisasi api berwarna merah.

CITAS BR

5.2 Saran

Adapun saran yang penulis harapkan tentang penelitian lanjutan untuk:

- Untuk penelitian minyak nabati dengan metode yang sama harap diperhatikan tetang menjaga massa aliran dari uap minyak nabati, karena karakteristik uapnya yang mudah sekali melepas kalor dan berubah fase dari uap menjadi cair (mengembun). Perlu untuk mencari metode yang lebih baik lagi agar pasokan uap minyak nabati ke burner bisa benar-benar stabil.
- Meneliti lebih lanjut tentang pengaruh penambahan kalor pada burner terhadap pola nyala api minyak nabati.
- Penelitian akan menjadi lebih menarik lagi jika diberikan gelombang elektromagnetik pada pencampuran uap minyak nabati dan udara dalam burner serta dicari pengaruhnya.
- Meneliti pola rambatan api minyak nabati dengan menggunakan piranti penelitian helle shaw cell.
- Melakukan penelitian pada minyak nabati yang telah dihilangkan gliserolnya untuk nantinya dapat dikembangkan sebagai *biofuel* yang ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Austria, ISO. *Top-Notch Technology in Production of Oil and Fats*. http://www.chempro.in/fattyacid.htm. (diakses 18 September 2012).
- Buffam, Julie & Kevin Cox. 2008. Measurement of Laminar Burning Velocity of Methane-Air Mixtures Using a Slot and Bunsen Burner.
- Cengel, Yunus A. & Boles, M. A. 1994. *Thermodynamics An Engineering Approach;* Second Edition. New York: McGraw-Hill.
- Chakrabarty, Moninder Mohan. 2003. *Chemistry And Technology Of Oils And Fats*. New Delhi: Allied Publishers PVT.LTD.
- Firmansyah, Rachmat Harris. 2008. Penelitian Kestabilan dan Panjang Nyala Api Premix Akibat Variasi Diameter Dalam Ring Menggunakan Gas Propana Pada Bunsen Burner. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Glassman, Irvin. 1987. *Combustion*, Second Edition. Orlando, Florida: Academic Press, INC.
- Handoyo, R., Anggraini, Ananta A., Anwar, Saiful. 2007. *Biodiesel dari Minyak Biji Kapok (Biodiesel from Kapok Seed Oil)*. Jurnal Injiniring Pertanian. 1 (V):1-8.
- Jamieson, J. S. and Baughman, W. F. 1920. Journal America Chemistry Society.42.
- Kurniawan, Arief. 2006. Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Bahan Bakar dan Udara Terhadap Ketidakstabilan Api Difusi (Lift Off) Pada Burner Concentric Anulus Tube; Brawijaya University, Malang.
- Sidqi, Basthiyan. 2011. Pengaruh Variasi Temperatur Injeksi Uap Minyak Kapuk (Ceiba Pentandra) Terhadap Ion Pembakaran Pada Microcombustor. Brawijaya University, Malang.
- Wardana, ING. 2008. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. PT. Danar Wijaya Brawijaya University Press, Malang.
- Wardana, ING. 2009. Combustion Characteristics of Jatropha Oil Droplet at Various Oil Temperatures. ScienceDirect Journal. 659-664.
- Widiyanto., Soejono, M., Bachruddin, Z., Hartadi, H. & Surahmanto. 2010. The Influence of Kapok (Ceiba Pentandra) Seed Oil Supplementation on Cellulolytic Enzyme and Rumen Microbial Fermentation Activity of Local Sheep. http://www.google.co.id/pdf/35(2)2010p129-133.pdf. (diakses 18 September 2012).





Lampiran 1. Data Hasil Perhitungan

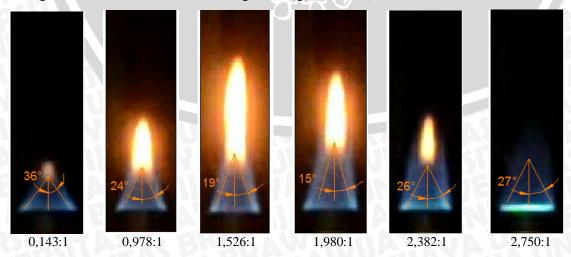
Tabel Perhitungan Air Fuel Ratio (AFR)

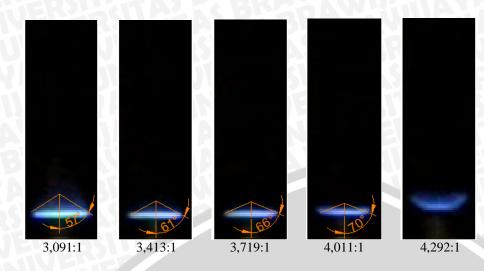
No.	Δh _{udara} (cm)	Debit Aliran Udara (Q _{udara}) (ml/dt)	ρ _{udara} (gr/ml)	Massa Alir Udara	Δh _{bb} (cm)	Debit Aliran Bahan Bakar (Q _{bb}) (ml/dt)	P _{bb} (gr/ml)	Massa Alir Bahan Bakar	AFR
1.	0,1	2,844187	0,001164	0,003311	0,7	12,21428	0,0019	0,023207	0,142656
2.	2	19,49261	0,001164	0,022689	0,7	12,21428	0,0019	0,023207	0,97769
3.	4	30,42858	0,001164	0,035419	0,7	12,21428	0,0019	0,023207	1,526206
4.	6	39,48392	0,001164	0,045959	0,7	12,21428	0,0019	0,023207	1,980395
5.	8	47,49998	0,001164	0,05529	0,7	12,21428	0,0019	0,023207	2,382456
6.	10	54,82241	0,001164	0,063813	0,7	12,21428	0,0019	0,023207	2,749727
7.	12	61,63566	0,001164	0,071744	0,7	12,21428	0,0019	0,023207	3,091459
8.	14	68,0527	0,001164	0,079213	0,7	12,21428	0,0019	0,023207	3,413319
9.	16	74,14898	0,001164	0,086309	0,7	12,21428	0,0019	0,023207	3,71909
10.	18	79,97803	0,001164	0,093094	0,7	12,21428	0,0019	0,023207	4,011457
11.	20	85,57953	0,001164	0,099615	0,7	12,21428	0,0019	0,023207	4,292412

Tabel Temperatur Api

AFR	Tepi Burner (⁰ C)	Center Burner (⁰ C)		
0.142656	469	457		
0.97769	471	(2) (437)		
1.526206	510	421		
1.980395	490	315		
2.382456	463	57 371 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10		
2.749727	521	297		
3.091459	585	495		
3.413319	430	395		
3.71909	517	417		
4.011457	570	455		
4.292412	668	473		

Lampiran 2. Data Sudut dan Kecepatan Api





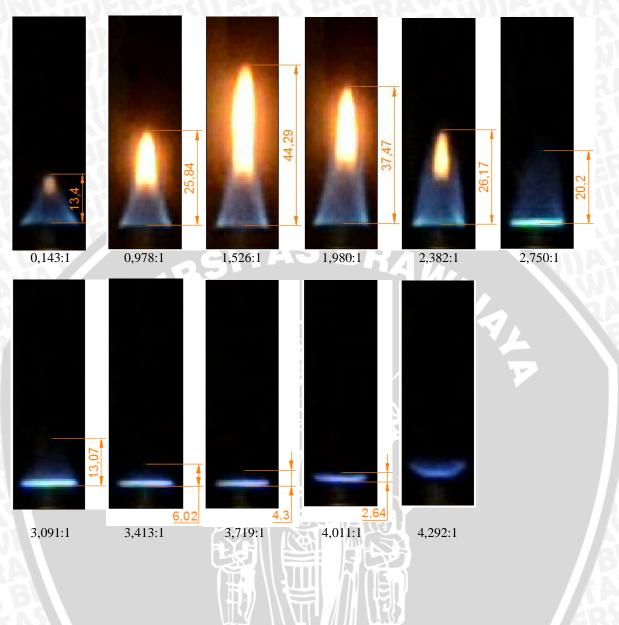
Tabel Kecepatan Api

Tuber Receptual ripi							
AFR	A (cm ²)	U (cm/dt)	θ	PI	Sin θ	S _L (cm/dt)	
0.142656	0.24618	61.169	36	3.142	0.588	30.278	
0.97769	0.569282	55.696	24	3.142	0.407	44.115	
1.526206	0.569282	74.906	19	3.142	0.326	47.491	
1.980395	0.569282	90.813	$\langle 15 \rangle \rangle$	3.142	0.259	45.771	
2.382456	0.569282	104.894	26	3.142	0.438	89.545	
2.749727	0.569282	117.757	27	3.142	0.454	104.107	
3.091459	0.569282	129.725	57	3.142	0.839	211.866	
3.413319	0.569282	140.997	61	3.142	0.875	240.147	
3.71909	0.569282	151.706	66	3.142	0.914	269.886	
4.011457	0.569282	161.945	70	3.142	0.940	296.347	
4.292412	0.569282	171.784	0	3.142	0.000	0.000	





Lampiran 3. Data Tinggi Api



Lampiran 4. Data Visualisasi Api

