

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri menghadapi tantangan baru setiap hari dalam rangka meningkatkan efisiensi peralatan pembakaran dan juga mengurangi dampak lingkungan. Selain mengembangkan desain baru dan konsep baru pembakaran, pemantauan terus menerus dan optimalisasi api, yang merupakan inti dari setiap proses pembakaran muncul sebagai alat utama untuk mencapai tuntutan tersebut. Salah satu darinya adalah penelitian mengenai kecepatan api laminar.

Kecepatan api laminar merupakan parameter penting dari campuran yang terbakar karena berisi informasi mendasar tentang reaktivitas, difusivitas, dan exothermisitas. Ini adalah pengetahuan yang akurat sangat penting untuk desain mesin, pemodelan pembakaran turbulen, dan validasi mekanisme kinetik kimia. Selain itu, penentuan kecepatan pembakaran sangat penting untuk perhitungan yang digunakan dalam perlindungan dari ledakan dan ventilasi tangki bahan bakar. Kecepatan pembakaran didefinisikan sebagai volume gas yang tidak terbakar dikonsumsi per satuan waktu dibagi dengan volume gas yang dikonsumsi. Kecepatan api laminar sangat berguna untuk pemodelan kecepatan api turbulen. Aliran turbulen terjadi ketika cairan yang mengalami fluktuasi yang tidak teratur dan bercampur. Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran yang lancar dan lurus mengikuti alurnya.

Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk mengukur kecepatan pembakaran, diantaranya: metode *heat flux burner*, metode *flat flame burner*, metode *bunsen burner*, teknik *slot burner*, *counter flow diffusion flow*, teknik *soap bubble*, dan metode *tube propagating* (Vaishali Katrel dan S. K. Bhele, 2013). *Bunsen burner* adalah burner api premixed yang pertama yang diciptakan oleh Robert Bunsen pada tahun 1855. Sebelumnya, api difusilah yang digunakan pada masa itu, namun api difusi berasap dan cenderung membentuk tumpukan karbon pada bagian burner yang tersentuh api. Sedangkan api premix dari *bunsen burner* cenderung bersih dan menghasilkan panas yang lebih efektif (Kenneth, 1986). Prinsip sederhana dari *Bunsen burner* ini banyak diaplikasikan pada kehidupan sehari-hari misalnya kompor gas dan dalam pengembangannya diaplikasikan *perforated plate* pada *bunsen burner*.

Pengukuran kecepatan api laminar pada campuran metana dan udara dengan *bunsen burner* dan metode *slot burner* sudah dilakukan dengan memvariasikan

equivalence ratio hal ini sudah diteliti sebelumnya oleh Jullie Buffam & Kevin Cox (2008).

Pada saat ini kelangkaan minyak terjadi akibat penggunaan energi yang terlalu banyak. Keterbatasan bahan bakar minyak yang tidak dapat terbaharukan saat ini menjadi energi utama yang tidak dapat terlepas dari kehidupan kita sehari-hari, jika dieksplorasi terus menerus akan menyebabkan krisis bahan bakar. Oleh sebab itu banyak pengembangan dalam bidang ilmiah tentang penggunaan bahan bakar alternatif sebagai energi terbaharukan yang memungkinkan dari ketersediaan bahan yang sangat cukup, sehingga dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif. Banyak peneliti menggunakan bahan bakar alternatif yang diambil dari minyak nabati. Minyak nabati dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif karena mudah didapat, ramah lingkungan, dan tidak habis sepanjang tanaman nabati itu masih ada. Sebagai pengganti bahan bakar minyak, terdapat berbagai minyak nabati yang dapat dikembangkan dan diteliti sebagai bahan bakar alternatif, akan tetapi untuk memfokuskan penelitian ini diteliti tiga macam minyak nabati yaitu: minyak kelapa, minyak jarak dan minyak biji kapas.

Minyak jarak juga dikenal sebagai *ricinus oil*, *oil of Palma Christi*, neoloid. Minyak jarak merupakan trigliserida dari berbagai asam lemak yang terdiri atas: 87 % risinoleat, 7 % oleat, 3 % linoleat, 2 % palmitat, 1% stearat, dan sejumlah kecil dihidroksistearat (Marlina, 2004).

Minyak kelapa merupakan ester dari gliserol dan asam lemak. Minyak kelapa merupakan bagian yang paling berharga dari buah kelapa dan banyak digunakan sebagai bahan baku industri atau sebagai minyak goreng. Minyak kelapa dapat diekstraksi dari daging buah kelapa atau daging kelapa yang dikeringkan. Kandungan minyak pada kopra umumnya 60 – 65%, sedangkan daging buah kelapa sekitar 43% (Suhardiman, 1999).

. Pada penelitian Bapak Wirawan dilakukan pengukuran kecepatan api laminar dengan perforated burner yang terbuat dari baja, terdiri dari 19 lubang dengan diameter setiap lubang 2.5 mm dan jarak antar lubang 3.75 mm. Hal ini menjadi acuan dasar untuk melakukan penelitian ini dengan membandingkan kecepatan api laminar antar perforated plate dengan jumlah lubang yang berbeda, sehingga akan diketahui pengaruh jumlah lubang pada perforated burner terhadap kecepatan api laminar.

1.2 Rumusan Masalah

Dari topik yang kita angkat bisa kita simpulkan bahwa rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana pengaruh bahan bakar pada perforated burner terhadap kecepatan api laminar?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan hasil penelitian tidak meluas maka perlu diberi batasan masalah sebagai berikut:

- Luasan lubang perforated burner dibuat konstan, yaitu $A = 93.21875 \text{ mm}^2$.
- Minyak nabati yang digunakan minyak jarak, minyak kelapa, minyak biji kapas.
- Temperatur ketel konstan 240°C

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi bahan bakar pada perforated burner terhadap kecepatan api laminar.

1.5 Manfaat Penelitian

- a. Mampu mengaplikasikan teori yang didapat selama perkuliahan tentang teknologi pembakaran.
- b. Sebagai referensi penelitian selanjutnya terutama mengenai pembakaran.
- c. Memberikan masukan bagi industri dalam mendesain perforated burner.
- d. Memberikan informasi variasi bahan bakar pada perforated burner terhadap kecepatan api laminar.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Minyak jarak juga dikenal sebagai *ricinus oil*, *oil of Palma Christi*, neoloid. Minyak jarak merupakan trigliserida dari berbagai asam lemak yang terdiri atas: 87 % risinoleat, 7 % oleat, 3 % linoleat, 2 % palmitat, 1% stearat, dan sejumlah kecil dihidroksistearat (Marlina, 2004). Minyak kelapa merupakan ester dari gliserol dan asam lemak. Minyak kelapa merupakan bagian yang paling berharga dari buah kelapa dan banyak digunakan sebagai bahan baku industri atau sebagai minyak goreng. Minyak kelapa dapat diekstraksi dari daging buah kelapa atau daging kelapa yang dikeringkan. Kandungan minyak pada kopra umumnya 60 – 65%, sedangkan daging buah kelapa sekitar 43% (Suhardiman, 1999).

(Buffam dan Cox, 2008) melakukan penelitian mengenai pengukuran kecepatan api laminar campuran metana dan udara dengan *bunsen burner* dan *slot burner*. Tujuan utama dari proyek ini adalah untuk merancang dua aparatus pembakaran untuk mengevaluasi kecepatan api laminar dengan berbagai ukuran api. *Slot burner* menggunakan tiga ukuran slot yang berbeda dan memberikan hasil yang memuaskan bila dibandingkan dengan data yang diterbitkan sebelumnya. Kecepatan yang diperoleh dengan menggunakan pembakar slot yang jauh lebih tinggi dari data yang diterbitkan sebelumnya. Hal ini bisa disebabkan oleh terbawanya udara dari sisi-sisi api yang mendinginkan suhu api dan mempengaruhi kecepatan pembakaran nya. Kelompok ini juga mengalami masalah turbulensi dengan aparatus ini. Data *bunsen burner* cukup akurat dimana kecepatan pembakaran tertinggi terjadi ketika equivalence ratio hampir mendekati 1 dimana campuran bahan bakar dan udara sama dengan kondisi stoikiometrinya.

(Wirawan, 2013) dalam penelitiannya yang berjudul pembakaran premixed minyak kelapa pada perforated burner melakukan penelitian kecepatan api laminar dengan perforated burner yang terbuat dari baja, terdiri dari 19 lubang dengan diameter setiap lubang 2.5 mm dan jarak antar lubang 3.75 mm. Dari hasil penelitian diketahui bahwa pada campuran paling miskin api terjadi di setiap lubang perforated dan mencapai kecepatan api laminar tertinggi.

Dalam penelitian yang akan dilakukan, penulis melanjutkan penelitian yang telah dilakukan Wirawan, (2008) dengan memvariasikan jumlah lubang pada *perforated burner* kemudian menganalisis data yang dihasilkan untuk mengetahui pengaruh variasi bahan bakar pada *perforated burner* terhadap kecepatan laminar yang dihasilkan.

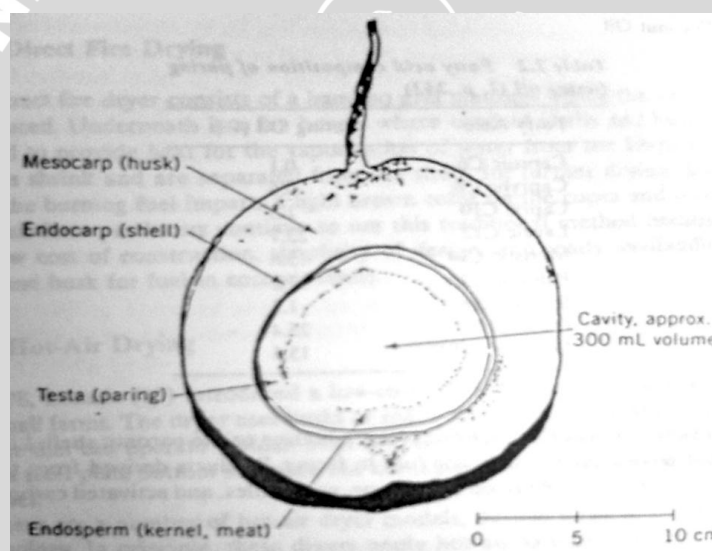
2.2 Minyak Kelapa

Minyak kelapa diperoleh dari buah tanaman kelapa atau *Cocos nucifera L.*, yaitu pada bagian inti buah kelapa (*kernel* atau *endosperm*). Tanaman kelapa ini memiliki :

Famili : *Palmae*

Genus : *Cocos*

Inti buah tanaman kelapa ini memiliki kandungan minyak kelapa sebanyak 34 % dengan kelembaban 6-8 % ini kandungan asam lemak minyak kelapa yang paling banyak adalah asam laurat C12:0 (asam lemak jenuh / *saturated fatty acid*).



Gambar 2.1 Buah kelapa
Sumber: Anonymous

Pada pembuatan minyak kelapa yang menjadi bahan baku utamanya adalah daging kelapa. Minyak kelapa berdasarkan kandungan asam lemak digolongkan ke dalam minyak asam laurat, karena kandungan asam lauratnya paling besar jika dibandingkan dengan asam lemak lainnya. Berdasarkan tingkat ketidakjenuhannya yang dinyatakan dengan bilangan iod (*iodine value*), maka minyak kelapa dapat dimasukkan ke dalam golongan *non drying oils*, karena bilangan iod minyak tersebut berkisar antara 7,5 – 10,5.

Warna coklat pada minyak yang mengandung protein dan karbohidrat bukan disebabkan oleh zat warna alamiah, tetapi oleh reaksi *browning*. Warna ini merupakan hasil reaksi dari senyawa karbonil (berasal dari pemecahan peroksida) dengan asam amino dari protein, dan terjadi terutama pada suhu tinggi. Warna pada minyak kelapa disebabkan oleh zat warna dan kotoran – kotoran lainnya.

Zat warna alamiah yang terdapat pada minyak kelapa adalah karoten yang merupakan hidrokarbon tidak jenuh dan tidak stabil pada suhu tinggi. Pada pengolahan minyak menggunakan uap panas maka warna kuning yang disebabkan oleh karoten akan mengalami degradasi.

Tabel 2.1 Kandungan asam lemak pada minyak kelapa

Asam lemak	Rumus kimia	Jumlah (%)
Asam lemak jenuh		
Asam kaproat	$C_5H_{11}COOH$	0,0 – 0,8
Asam kaprilat	$C_7H_{15}COOH$	5,5 – 9,5
Asam kaprat	$C_9H_{19}COOH$	4,5 – 9,5
Asam laurat	$C_{11}H_{23}COOH$	44,0 – 52,0
Asam miristat	$C_{13}H_{27}COOH$	13,2 – 19,0
Asam palmitat	$C_{15}H_{31}COOH$	7,5 – 10,0
Asam stearat	$C_{17}H_{35}COOH$	1,0 – 3,0
Asam lemak tidak jenuh		
Asam palmitoleat	$C_{15}H_{29}COOH$	0,0 – 1,3
Asam oleat	$C_{17}H_{33}COOH$	5,0 – 8,0
Asam linoleat	$C_{17}H_{31}COOH$	1,5 – 2,5

Sumber: Hui, 1996

2.3 Minyak Biji Kapas

Minyak biji kapas diperoleh dari biji tanaman kapas, minyak biji kapas diperoleh dari proses pengekstraksian biji kapas dan spesies yang umum dikenal dari tanaman kapas yaitu: *Gossypium hirsutum* (USA dan Australia)

G. arboreum dan *G. herbaceum* (Asia)

G. barbadense (Egypt)

Biji kapas ini memiliki kandungan minyak biji kapas sebanyak 16,14 % dengan kelembaban < 10 %. Kandungan asam lemak minyak biji kapas yang paling banyak adalah asam linoleat C18:2 (asam lemak tak jenuh / *unsaturated fatty acid*) Kapas

adalah suatu serabut lembut yang tumbuh di sekitar suatu semak belukar yang asli kepada daerah subtropis dan tropis. Serabut kapas setelah diproses untuk memindahkan benih dan jejak lilin, protein, dll. terdiri dari selulosa suatu polimer alami. Produksi kapas sangat efisien dimana hanya sekitar kurang dari sepuluh persen berat dari kapas yang terbuang sewaktu dilakukan pengolahan awal sehingga menjadi bahan baku. Tanaman kapas tumbuh pada daerah tropis dan subtropis yang beriklim hangat (panas). Komposisi kandungan asam lemak yang terdapat pada minyak biji kapas dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.2 Kandungan asam lemak minyak kapas

Asam Lemak (FA)	Kandungan %
Miristat C14:0	0.7 – 0.9
Palmitat C16:0	22.7 – 27.3
Palmitoleat C16:1	0.6 – 0.8
Stearat C18:0	2.0 – 2.7
Oleat C18:1	15.6 – 18.6
Linoleat C18:2	50.5 – 55.8
Linolenat C18:3	0.2 – 0.3
Aracidoneat C20:4	0.1

Sumber: Hui, 1996

2.4 Minyak Jarak

Minyak jarak dihasilkan dari tanaman jarak pagar, jarak telah dikenal oleh masyarakat Indonesia tetapi selama ini masyarakat hanya mengetahui manfaat jarak (terutama jarak pagar) sebagai tanaman obat tradisional dan pagar hidup, jarak pagar termasuk dalam *family euphorbiaceae*, berupa perdu dengan tinggi 1-7 m, bercabang tidak teratur, dan batangnya berkayu berbentuk silindris daun tanaman jarak tunggal berlekuk dan bersudut tiga atau lima. Panjang daun 5-15 cm dengan tulang daun menjari. Buah jarak berupa buah kotak berbentuk bulat telur, berdiameter 2-4 cm dan panjang buah 2 cm dengan ketebalan sekitar 1 cm. Buah jarak terbagi menjadi tiga ruang, masing-masing ruang berisi satu biji. Biji berbentuk bulat lonjong, berwarna coklat kehitaman dan mengandung minyak (30-50%)

Minyak jarak dihasilkan dengan mengekstrak biji jarak. Biasanya cara yang digunakan adalah pengepresan mekanik. Cara ekstraksi ini paling sesuai untuk

memisahkan minyak dari bahan yang kadarnya minyaknya diatas 10%. Pengepresan mekanik menggunakan dua teknik, yaitu pengepresan hidrolik dan pengepresan berulir. Sebelum digunakan sebagai bahan baku biodiesel, minyak jarak dimurnikan terlebih dahulu untuk menghilangkan senyawa pengotor seperti gum (getah atau lender yang terdiri dari fosfatida, protein, residu, karbohidrat, air, dan resin), asam lemak bebas dan senyawa pengotor lainnya.

Minyak jarak memiliki komposisi trigliserida yang mengandung asam lemak oleat dan linoleat. Kandungan asam lemak dalam minyak jarak pagar dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 2.3 Kandungan asam lemak Minyak Jarak

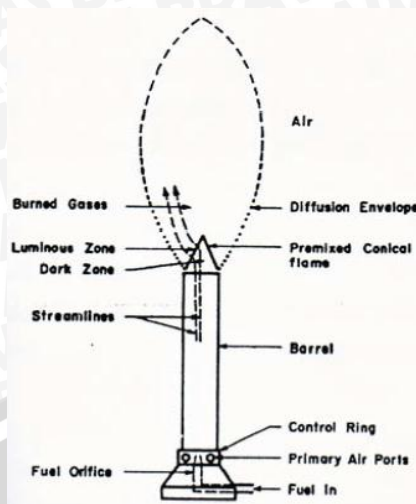
Asam Lemak	Jumlah (%)
• Asam miristat (14:0)	0-0,1
• Asam palmitat (16:0)	14,1-15,3
• Asam palmitoleat (16:1)	0-1,3
• Asam stearat (18:0)	3,7-9,8
• Asam oleat (18:1)	34,3-45,8
• Asam linoleat (18:2)	29,0-44,2
• Asam linolenat (18:3)	0-0,3
• Asam arakhidat (20:0)	0,0,3
• Asam behenat (22:0)	0-0,2

Sumber: Gubitz et al., 1999

2.5 *Bunsen Burner*

Pada sekitar tahun 1855 pembakaran api premix dikenalkan oleh Bunsen. Sebelumnya tipe sederhana pada api yakni api difusi dimana jenis ini sudah digunakan sebelumnya. Api difusi memiliki efektifitas termal yang sangat rendah dibandingkan dengan api premix dari pembakaran *bunsen* relatif bersih dan memiliki efektifitas termal yang lebih tinggi.

Pada pembakaran *Bunsen* terlihat pada gambar dibawah ini



Gambar 2.2 *Bunsen burner*

Sumber: Kuo, (1992:190)

Bunsen burner merupakan pengembangan dari Robert Bunsen (1811-1899) yang memiliki prinsip kerja menggunakan pengaturan aliran udara campuran udara dan bahan bakar gas secara kontinyu, skema *bunsen burner* ditunjukkan pada gambar diatas. Bahan bakar gas masuk kedalam burner melalui pipa saluran masuk didasar *burner*, dimana ujung pipa berbentuk *nozzle* agar bahan bakar gas dapat langsung bercampur baik dengan udara yang masuk secara radial lewat kontrol 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 (*red of reaction*) serta laju aliran udara dan bahan bakar dipertahankan konstan, maka nyala api premix akan tetap stabil. Pada daerah luminous terjadi reaksi dan pelepasan energi panas (*eksoterm*) sebagai entalpi gas yang terbakar, sedangkan dibawahnya terdapat daerah gelap (*dark zone*), yaitu tempat dimana molekul gas yang belum terbakar berubah alirannya dari arah sejajar sumbu tabung pembakar kearah luar tegak lurus permukaan batas daerah gelap. Selanjutnya gas yang belum terbakar mendapat energi panas sepanjang daerah pemanasan awal (*preheating zone*: η_0) samapai temperatur nyala (*ignition temperatur*: T_i) tercapai dan kemudian bereaksi dengan cepat sepanjang tebal daerah (*reaction zone*: η_R), disertai pelepasan energi panas yang lebih besar hingga mencapai temperatur nyala api (*flame temperatur*: T_F). warna daerah luminous biasanya berubah menurut rasio udara dan bahan bakar. Jika rasio campuran kurus, maka warna kerucut nyala api luminous adalah ungu,

menandakan banyak dihasilkan CH radikal. Jika rasio campuran kaya bahan bakar maka permukaan kerucut nyala api *luminous* mendekati kebiruaan.

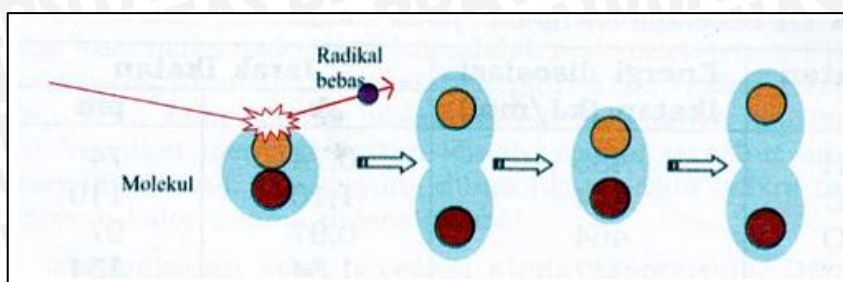
2.6 Proses Pembakaran

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. Energi 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 perlahan-lahan 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 CO_2 , air (H_2O) dan gas SO_2 . 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 dibutuhkan 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 nitroksida (NO_x) yang merupakan gas yang beracun.

Panas atau energi yang dipakai untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar disebut sebagai energi aktivasi. Energi aktivasi didapat dari percikan busi atau bisa juga diambil dari proses pembakaran kontinyu. Pada proses pembakaran kontinyu, umumnya energi diambil dari panas pembakaran secara radiasi atau cara konveksi (sirkulasi balik) seperti terlihat pada gambar dibawah ini.

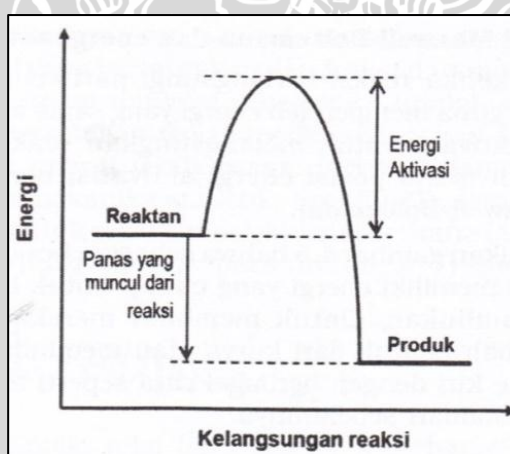


Gambar 2.3 Ilustrasi Proses Pembakaran

Sumber: Wardana (2009:3)

2.7 Energi Aktivasi

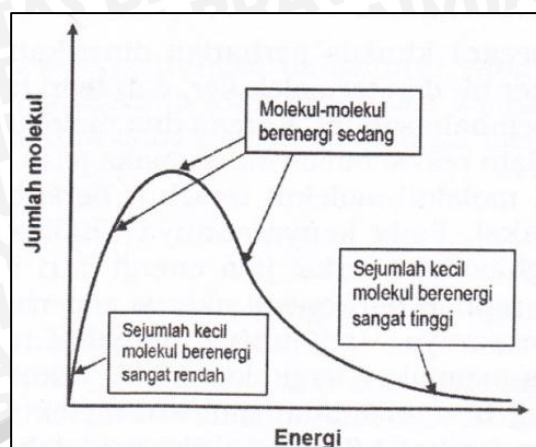
Energi aktivasi adalah energi minimum yang digunakan untuk berlangsungnya suatu reaksi (Wardana;2008:104) jika antar molekul bertumbukan dengan energi lebih rendah dari energi aktivasi maka reaksi tidak akan terjadi. Molekul-molekul yang bergerak tadi akan kembali pada keadaannya semula. Jadi reaksi dapat berlangsung jika tumbukan memiliki energi aktivasi yang sama atau lebih besar dari energi aktivasinya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4 . Apabila tumbukan antar molekul tersebut kurang serta energi aktivasinya rendah maka reaksi akan sulit terjadi.



Gambar 2.4 Peran energi aktivasi dalam proses reaksi

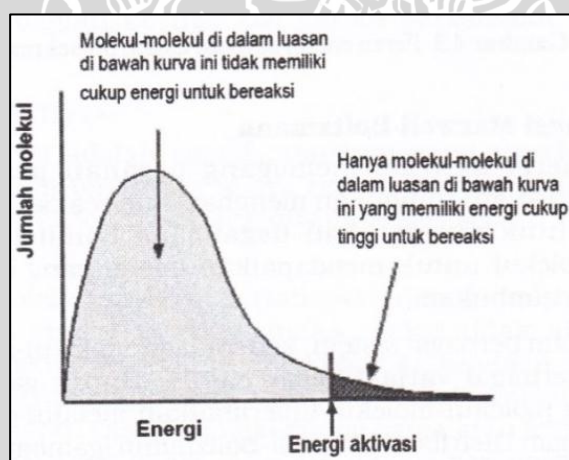
Sumber: Wardhana (2008:105)

Dari gambar 2. 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-Boltzman. Pada gambar 2.4 luas daerah dibawah kurva menunjukkan banyaknya molekul yang terkandung.



Gambar 2.5 Distribusi Maxwell-Boltzman
Sumber: Wardhana (2008:105)

Pada gambar 2.5 Memperlihatkan bahwa distribusi Maxwell-Boltzman 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 2.6 Posisi energi aktivasi dalam distribusi Maxwell-Boltzman
Sumber: Wardhana (2008:106)

2.8 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 yang berbanding terbalik dengan jarak antar massa tersebut. Semakin kecil jarak antar massa maka gaya tarik

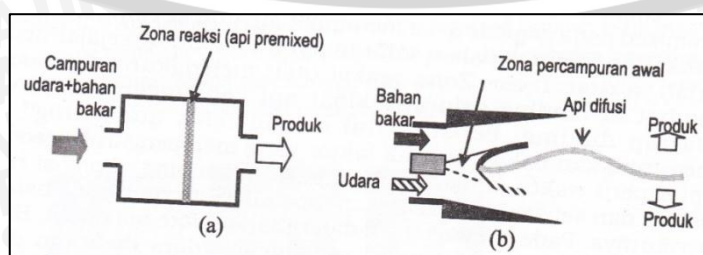
menariknya akan semakin besar, sehingga jika suatu molekul memiliki jarak atom yang kecil memiliki energi disosiasi yang besar, begitu pula sebaliknya.

2.9 Pembakaran Api Premixed

Pembakaran adalah reaksi bahan bakar dan pengoksidasi (oksigen, udara) yang menghasilkan panas. Pembakaran bisa terjadi kalau memenuhi syarat-syarat keseimbangan massa (stoikiometri), kesetimbangan termodinamika dan kinetik (Wardana, 2008). Pembakaran diklasifikasikan menjadi dua yaitu: 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 perilaku 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 sebelumnya masuk ke zona reaksi maka pembakaran tersebut adalah pembakaran premixed. Sedangkan apabila reaktan tidak tercampur sebelum terbakar maka pembakaran termasuk pembakaran difusi karena percampuran bahan bakar dan udara yang berlangsung di zona reaksi adalah akibat difusi molekul seperti terlihat pada gambar 2.7. Dimana gambar tersebut memberikan ilustrasi pembakaran premix dan pembakaran 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 2.7. (a) reaktan (bahan bakar dan udara) bercampur sebelum masuk zona reaksi. Proses reaksinya berlangsung dengan 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 ke arah reaktan dengan kecepatan unik. Jika kecepatan reaktan sama dengan kecepatan rambatan api maka api (zona reaksi) akan stationer.



Gambar 2.7 Cara reaktan terbakar pada pembakaran premixed dan difusi

Sumber: Wardhana (2008:149)

Sedangkan gambar 2.7 (b) pada pembakaran difusi, bahan bakar dan udara masuk kedalam 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 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 arah bahan bakar karena kekurangan oksigen demikian sebaliknya tidak bisa merambat ke udara karena kekurangan bahan bakar posisi api difusi ada pada daerah campuran udara bahan bakar stoikiometri.

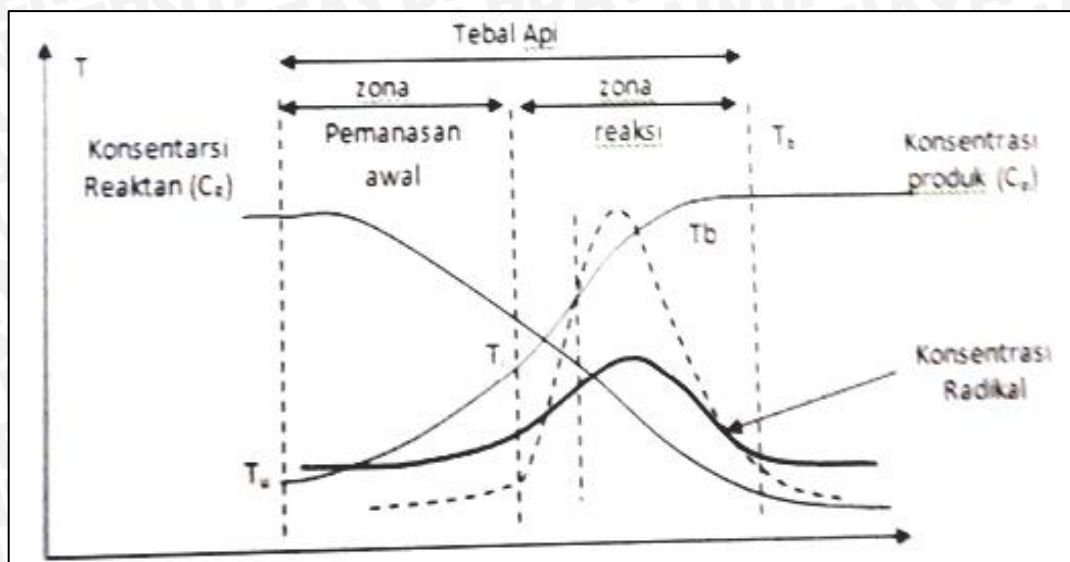
Karakter yang kedua saat reaktan melintasi zona reaksi yakni apabila alirannya laminar dan turbulen. Pada pembakaran laminar semua proses campuran dan produk penjalaran reaktan maupun panas terjadi secara molekuler. Dan pada pembakaran turbulen semua proses pencampuran dan proses penjalaran dibantu oleh gerakan pusaran-pusaran aliran turbulen. Dan pada karakter yang ke tiga ditentukan pada kondisi awal dari bahan bakar:

Dalam gelombang pembakaran terdapat dua zona yaitu:

1. Zona pemanasan awal (*preheat zone*)

Daerah dimana sedikit panas dan masih banyak bahan bakar yang belum terbakar (*unburn fuel*)

2. Zona reaksi (*reaction zone*) daerah dimana sebagian besar energi kimia dilepaskan



Gambar 2.8 Detail struktur didalam api premix
Sumber: Wardhana (2008:155)

Keterangan gambar:

C_R = konsentrasi reaktan

C_P = konsentrasi produk

T = distribusi temperatur

T_u = temperatur reaktan

T_i = temperatur *intermediate*

U = distribusi kecepatan gas

Distribusi konsentrasi reaktan, konsentrasi produk, konsentrasi radikal, temperatur dan kecepatan gas seperti terlihat pada gambar 2.8. Diatas radikal akan selalu muncul pada zona reaksi sebagai konsekuensi dari reaksi tersebut. Dalam api terjadi gradient temperatur dimana temperatur dimana temperatur produk lebih tinggi dari temperatur reaktan oleh karena itu berdasarkan hukum termodinamika maka akan terjadi transfer panas dari produk reaktan. Transfer panas yang terus menerus tersebut akan meningkatkan temperatur reaktan. Jia 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 kearah reaktan. Kecepatan rambatan api tersebut disebut kecepatan pembakaran. Kecepatan pembakaran dalam pembakaran premixed biasabya diberi notasi S_L .

Mahallawy (2002) menyatakan bahwa fenomena pembakaran timbul dari interaksi antara proses kimia dan fisika. Panas dilepaskan dari reaksi-reaksi kimia, namun

perambatannya melibatkan proses perpindahan panas dan dinamika fluida sehingga interpretasi teoritisnya dapat diturunkan dengan menggunakan pemahaman akan ilmu-ilmu kimia, termofisika, mekanika fluida dan matematika terapan. Pembakaran dapat dibagi menjadi tiga macam berdasarkan jenis bahan bakarnya yaitu gas, cair, dan padat sederhana nyala api yang dihasilkan dapat digolongkan menjadi nyala api *premixed* jika bahan bakar dan oksidator bercampur terlebih dahulu sebelum proses pembakaran berlangsung. Dan nyala api difusi jika bahan bakar dan oksidator tidak bercampur sebelum proses pembakaran berlangsung.

Api *premixed* terbentuk jika bahan bakar dan oksidator (udara) sudah tercampur sebelum masuk kedalam daerah reaksi. (Rahmat, 2008). Nyala api *premixed* terdiri atas daerah terang, menunjukkan tempat terjadinya reaksi dan energi panas dilepaskan daerah reaksi (*reaction zone*) yang mempunyai ketebalan kurang lebih 1 mm. warna terang ini dapat berubah-ubah tergantung rasio udara dan bahan bakar. Daerah schlieren (*schlieren zone*) dan daerah gelap (*dark zone*), merupakan daerah transmisi terjadinya perubahan molekul gas menjadi gas yang siap bereaksi pada jarak daerah pemanasan awal (*preheating zone*) (Rahman, 2008)

2.10 Kecepatan Pembakaran Laminar

Kecepatan pembakaran laminar (SL) adalah kecepatan di mana sebuah laminar gelombang pembakaran merambat dibandingkan dengan campuran gas yang tidak terbakar di depan itu. Kecepatan pembakaran fundamental (Su) adalah serupa, tetapi umumnya tidak identik dengan, kecepatan pembakaran laminar diamati. Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan pembakaran diantaranya adalah:

- a. Turbulensi aliran untuk pengadukkan bahan bakar dan udara.

Jika aliran yang dihasilkan dari tumbukan molekul udara dengan bahan bakar semakin turbulen, maka udara dengan bahan bakar akan lebih tercampur sempurna. Dengan campuran yang lebih sempurna maka proses pembakaran akan berlangsung cepat.

- b. Luas daerah kontak reaksi antara bahan bakar dan udara.

Ketika luas daerah kontak antara udara dengan bahan bakar semakin kecil, maka aliran yang dihasilkan akan semakin turbulen. Dengan semakin kecilnya ruang kontak udara dengan bahan bakar, maka intensitas tumbukan molekul udara dengan bahan bakar akan semakin sering sehingga aliran akan menjadi turbulen. Dengan aliran yang turbulen maka pembakaran akan berlangsung lebih cepat.

c. Temperatur pembakaran.

Dengan temperatur pembakaran yang tinggi, maka temperatur reaktan akan meningkat. Karena adanya peningkatan temperatur reaktan, maka energi panas dari reaktan akan semakin besar. Dengan semakin besarnya temperatur reaktan, maka pembakaran yang terjadi juga akan semakin meningkat.

d. Katalis.

Katalis berperan penting dalam proses pembakaran. Apabila dalam pembakaran tidak ada katalis yang digunakan, pembakaran bisa tetap terjadi tetapi akan berjalan lambat. Hal ini dikarenakan tidak adanya energi tambahan untuk memecah molekul bahan bakar. Ketika katalis ditambahkan, maka molekul bahan bakar akan lebih cepat pecah dan pembakaran akan berlangsung lebih cepat.

2.11 Equivalence Ratio

Equivalence ratio adalah perbandingan antara rasio campuran bahan bakar dan udara aktual terhadap rasio campuran bahan bakar dan udara stoikiometrik. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\Phi = \frac{(\text{ratio bahan bakar-oksikator})_{\text{stoikiometri}}}{(\text{ratio bahan bakar-oksikator})_{\text{aktual}}} = \frac{\left(\frac{m_{\text{fuel}}}{m_{\text{ox}}}\right)_{\text{st}}}{\left(\frac{m_{\text{fuel}}}{m_{\text{ox}}}\right)} = \frac{\left(\frac{n_{\text{fuel}}}{n_{\text{ox}}}\right)_{\text{st}}}{\left(\frac{n_{\text{fuel}}}{n_{\text{ox}}}\right)}$$

Dimana:

Φ = *equivalence ratio*

m_{fuel} = massa bahan bakar

m_{ox} = massa oksidator

n_{fuel} = jumlah mol bahan bakar

n_{ox} = jumlah mol oksidator

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

2.12 Kecepatan Api Laminer

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 transfer panas dari produk ke reaktan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan pembakaran diantaranya adalah:

- e. Turbulensi aliran untuk pengadukkan bahan bakar dan udara.
- f. Luas daerah kontak reaksi antara bahan bakar dan udara.
- g. Temperatur pembakaran.
- h. Katalis.

2.13 Pengukuran Kecepatan Api Laminer

Kecepatan pembakaran laminer pada metode *bunsen burner* dapat dihitung dengan persamaan:

$$S_L = v \cdot \sin \alpha$$

Dimana:

S_L = kecepatan pembakaran laminer (cm/s)

v = kecepatan reaktan (cm/s)

α = sudut api yang terbentuk ($^\circ$)

Nilai dari kecepatan reaktan sendiri dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$v = \frac{Q_{fuel} + Q_{air}}{A_b}$$

Dimana:

Q_{fuel} = debit aliran bahan bakar (cm^3/s)

Q_{air} = debit aliran udara (cm^3/s)

A_b = luas bagian melintang *burner* (cm^2)

2.14 Hipotesa

Perubahan AFR akan mempengaruhi karakteristik kecepatan pembakaran laminar, dimana semakin kecil *equivalence ratio* semakin besar kecepatan pembakaran laminarnya. Dan faktor koreksi antara *bunsen burner* dengan *perforated burner* yang relatif kecil.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental nyata (*true experimental research*) yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk memperoleh data sebab akibat melalui eksperimen guna mendapatkan data empiris yang secara langsung digunakan ke obyek yang akan diteliti. Obyek tersebut akan diambil datanya pada tahapan-tahapan tertentu yang akan menghasilkan beberapa data yang bisa

dibandingkan dan akan menunjukkan suatu pola perbandingan tertentu yang bisa dikaitkan. Dengan cara ini akan diuji pengaruh variasi jumlah lubang pada *perforated burner* terhadap karakteristik api.

Penelitian dilakukan secara eksperimental dalam sebuah peralatan yang ditunjukkan secara skematis pada gambar 3.2 dengan minyak diuapkan dalam boiler dengan suhu dijaga 240°C . Uap minyak dari boiler dicampur dengan udara dari kompresor diruang pencampuran. Campuran reaktan kemudian mengalir ke nosel sebelum dinyalakan untuk membentuk api pada *perforated plate* yang di pasang diatas nosel.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini ada tiga macam yaitu:

3.2.1 Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang ditentukan nilainya sebelum melakukan penelitian. Besar variabel bebas ini diubah-ubah agar didapatkan hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat sehingga tujuan penelitian dapat tercapai. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah:

Minyak kelapa, minyak biji kapas dan minyak jarak.

3.2.2 Variabel terkontrol

Variabel terkontrol merupakan variabel yang dijaga konstan dan terkontrol pada saat penelitian dilakukan, tetapi juga mempengaruhi variabel terikat

- Volume *burner* tetap.
- Temperatur lingkungan 27°C
- Temperature boiler dijaga tetap 240°C

3.2.3 Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung pada nilai dari variabel bebasnya. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah kecepatan pembakaran laminar dan tinggi api.

3.3 Peralatan Penelitian

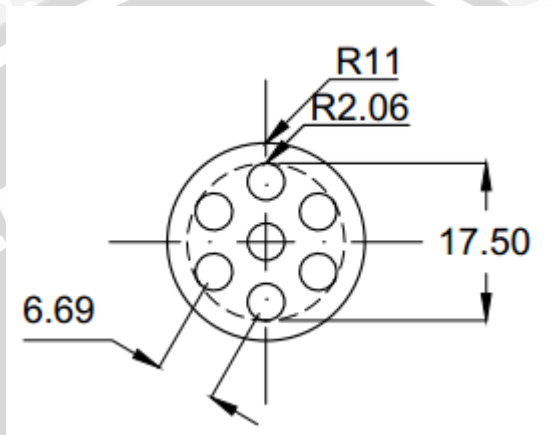
Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Bunsen burner* dengan diameter dalam 21 mm dan panjang 210 mm, dimana sebuah *bunsen burner* panjangnya minimal sepuluh kali diameter untuk

pembakaran gas manufaktur dalam hal ini bahan bakar dan udara dapat bercampur secara homogen (Kuo, 1989). Pada ujungnya dilengkapi dengan *perforated plate* dengan spesifikasi sebagai berikut:

Perforated Plate 1 (7 holes)

Diameter 22 mm dengan jumlah lubang 7 dengan diameter 4.12 mm dan jarak antar lubang 6.69 mm. Jumlah luasan lubang *perforated plate* sebesar 93.22 mm².



Gambar 3.1 *Perforated plate 1*
Sumber: dokumen pribadi

2. Kompresor

Digunakan untuk memberikan suplai udara yang dibutuhkan untuk pembakaran.

Spesifikasi kompresor:

- Merek : Wipro
- Power : 1Hp
- Max. Pressure : 8 bar
- Kapasitas : 24 liter
- Voltage : 220 V
- Flated Speed : 2900 rpm



Gambar 3.2 Kompresor
Sumber: dokumen pribadi

3. Kamera

Digunakan untuk menangkap gambar api yang terbentuk dari pembakaran untuk dapat diamati sudut yang terbentuk dari api tersebut.

Spesifikasi kamera :

- Ukuran : 12.99 x 9.97 x 7.79 cm
- Berat (kg) : 3
- Ukuran Layar (in) : 2.7
- Megapiksel : 12.2
- Fitur : HD Recording
- Tipe Baterai : Li-ion



Gambar 3.3 Kamera
Sumber: dokumen pribadi

4. Flowmeter udara

Digunakan untuk mengukur kapasitas udara.

Spesifikasi Flowmeter :

- Merk : ZYLA
- Temperatur fluida : 20-150°C
- Tekanan maksimal : 3.0 NL/min



Gambar 3.4 Flowmeter Udara
Sumber: dokumen pribadi

5. *Flowmeter* bahan bakar

Digunakan untuk mengukur kapasitas bahan bakar.

Spesifikasi Flowmeter :

- Merk : ZYLA
- Temperatur fluida : 20-150°C
- Tekanan maksimal : 20 NL/min



Gambar 3.5 Flowmeter bahan bakar
Sumber: dokumen pribadi

6. Katup bahan bakar

Digunakan untuk mengatur jumlah kapasitas bahan bakar.



Gambar 3.6 Katup bahan bakar
Sumber: dokumen pribadi

7. Katup udara

Digunakan untuk mengatur jumlah kapasitas udara.



Gambar 3.7 Katup udara
Sumber: dokumen pribadi

8. Higrometer

Digunakan untuk mengukur temperatur lingkungan pada saat pengambilan data.



Gambar 3.8 Higrometer
Sumber: dokumen pribadi

9. Ketel

Sebagai penguap bahan bakar yang digunakan untuk penelitian.



Gambar 3.9 Ketel
Sumber: dokumen pribadi

10. Selang

Sebagai penghubung atau konektor bahan bakar dan udara dari flowmeter ke

Burner

Spesifikasi Flowmeter :

- Merk : Blue gaz
- Bahan : Lapisan dalam karet, lapisan anyaman nylon.
- Standar : SNI 06-7213-2006/Amd 1:2008.



Gambar 3.10 Selang
Sumber: dokumen pribadi

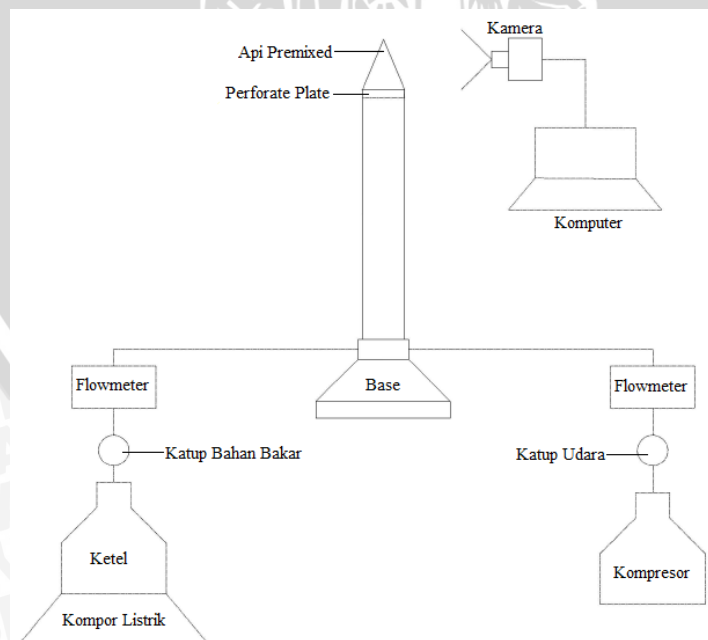
11. Pemantik api

Sebagai energi aktivasi.



Gambar 3.11 Pemantik Api
Sumber: dokumen pribadi

Skema instalasi peralatan pengujian yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.12 sebagai berikut:



Gambar 3.12 Skema instalasi peralatan pengujian

3.4 Tempat Penelitian

Penelitian mengenai pengaruh variasi jumlah lubang pada *perforated burner* terhadap kecepatan pembakaran laminar ini dilakukan di Laboratorium Motor Bakar, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, universitas Brawijaya, Malang.

3.5 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

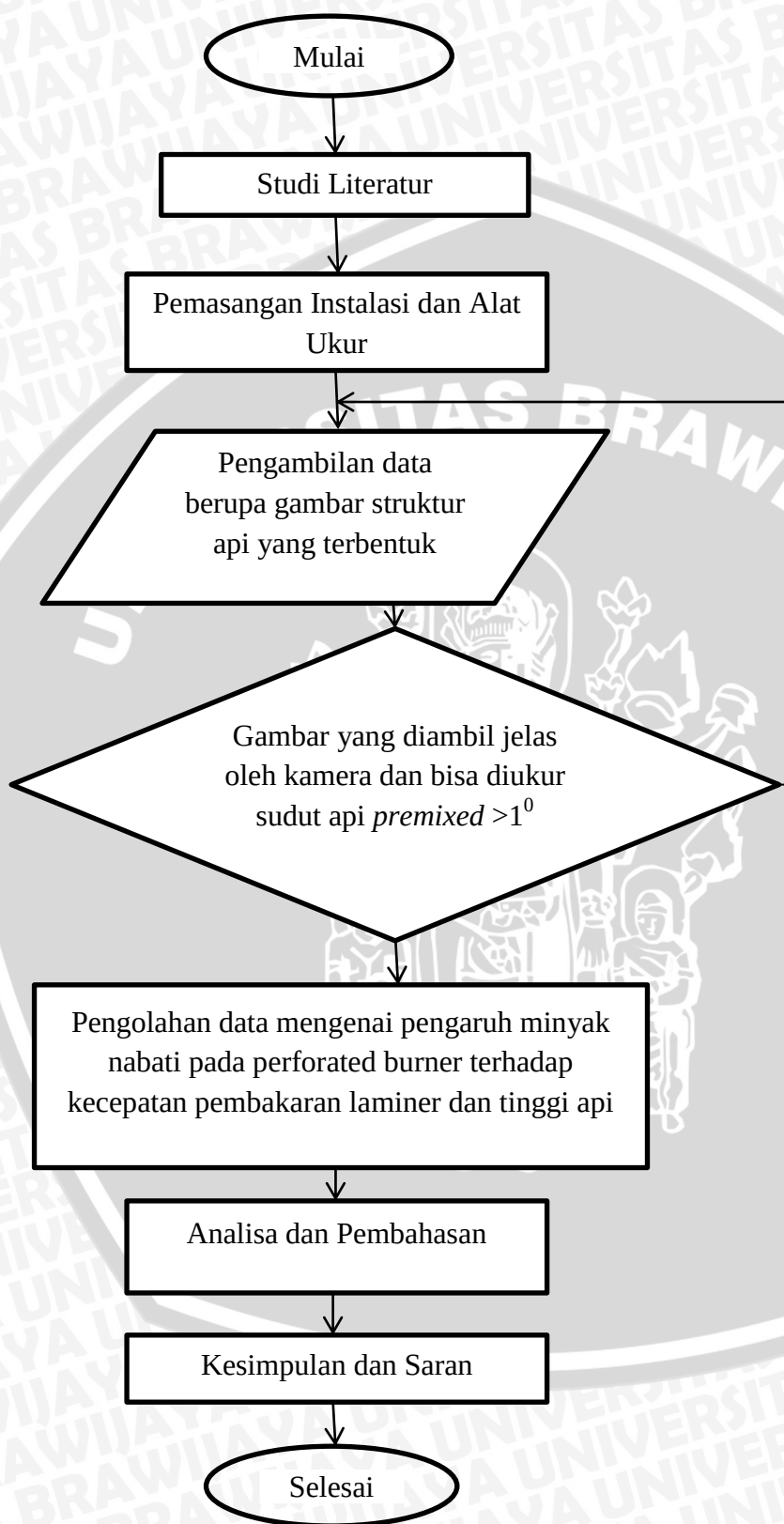
A. Persiapan

1. Menyiapkan instalasi penelitian.
2. Melakukan pengecekan terhadap alat ukur yang digunakan dan kondisi kamera.

B. Pelaksanaan Percobaan

1. Memasang semua instalasi penelitian.
2. Memastikan instalasi sudah aman dan tidak terdapat kebocoran gas dengan menggunakan busa sabun.
3. Mengatur bukaan katup bahan bakar hingga mencapai debit yang sudah ditentukan.
4. Menyalakan api dengan pemantik api.
5. Mengatur bukaan katup udara.
6. Mengambil gambar dari api yang terbentuk dengan menggunakan kamera sebanyak 3 kali.
7. Setelah gambar yang didapat sudah tersimpan, ulangi pengambilan gambar dengan variasi bahan bakar yang tersedia.
8. Jika sudah selesai hentikan aliran bahan bakar ke burner sehingga api padam.
9. Memasang *perforated plate* dengan jumlah lubang 7 dengan bahan bakar minyak jarak.
10. Mengatur bukaan katup bahan bakar hingga mencapai debit yang sudah ditentukan.
11. Menyalakan api dengan pemantik api
12. Mengatur bukaan katup udara.
13. Mengambil gambar dari api yang terbentuk dengan menggunakan kamera sebanyak 3 kali.
14. Mengulangi langkah 9-14 dengan memvariasikan bahan bakar (minyak kelapa dan minyak biji kapas), dan mengambil kesimpulan.

3.7 Diagram Alir Penelitian



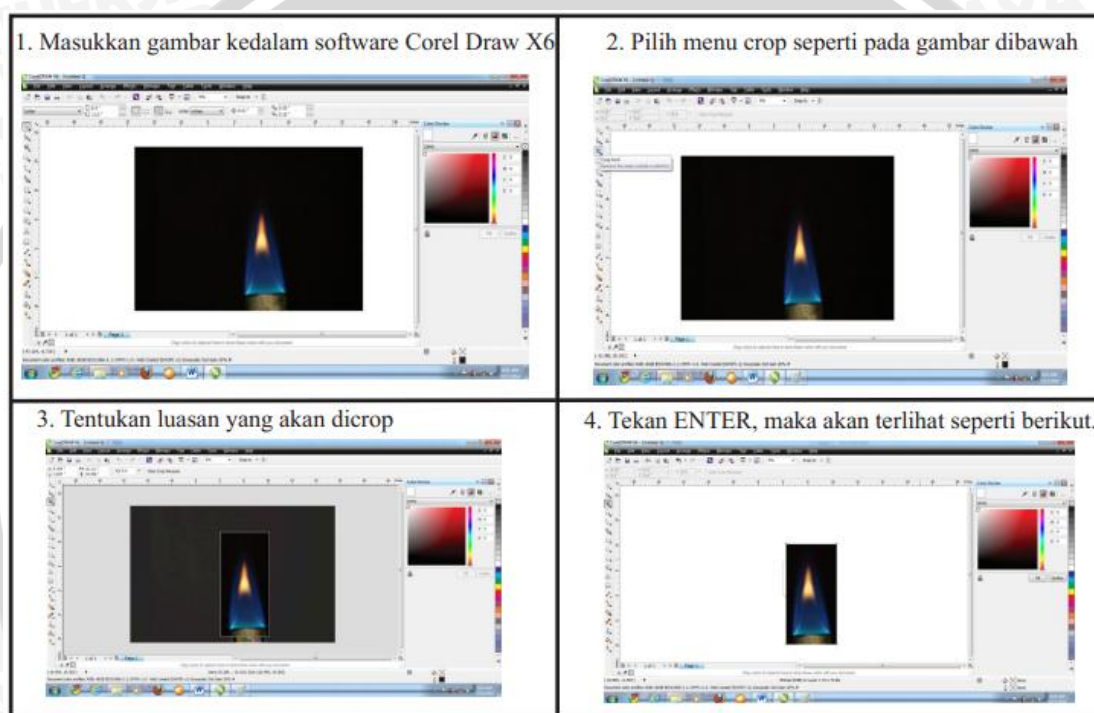
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data

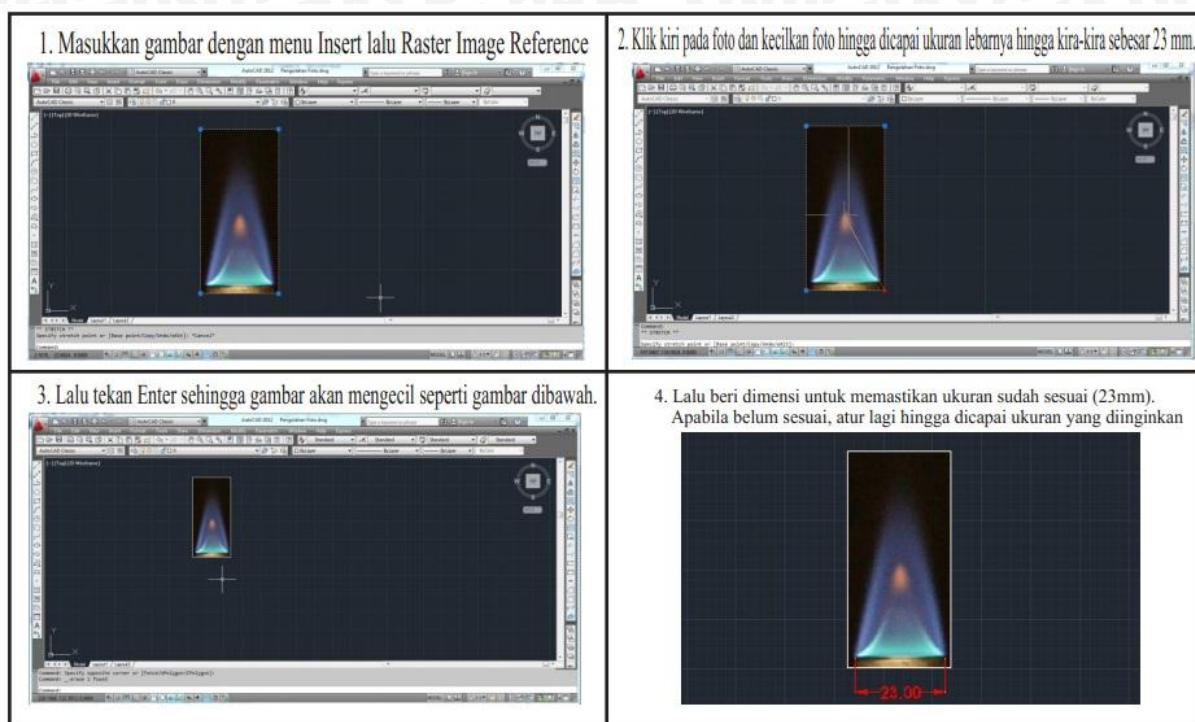
Hasil pengambilan gambar nyala api pembakaran minyak nabati dan udara yang berupa foto, dipotong (*crop*) dengan menggunakan *software Corel Draw X6* sesuai kebutuhan sehingga gambar lebih mudah untuk diolah. Pada gambar 4.1 berikut ditampilkan contoh proses pengolahan visualisasi api pada *Corel Draw X6*.



Gambar 4.1 Pengolahan Pemotongan Visualisasi Api Pada *Corel Draw X6*

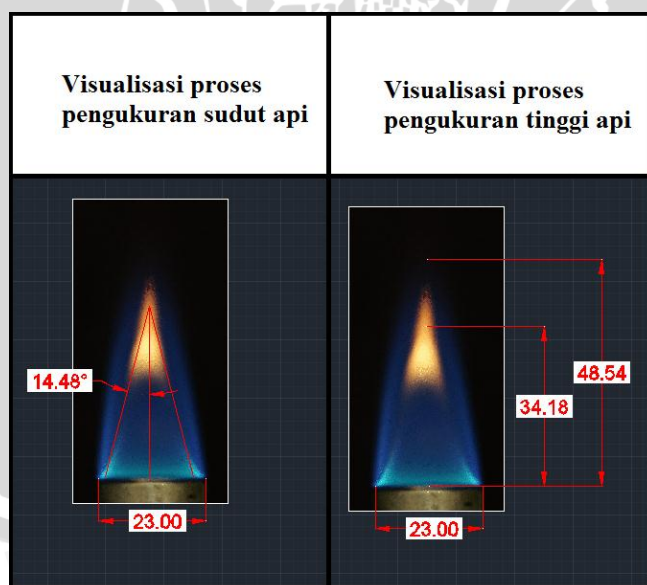
Setelah semua gambar visualisasi api sudah dipotong dengan *Corel Draw X6*, gambar-gambar tersebut kemudian disusun sejajar sehingga akan terlihat pola pergerakan api disaat mulai terbentuk hingga padam (*blow off*). Gambar pola api tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.7.

Setelah selesai, gambar-gambar visualisasi api yang telah dipotong dimasukkan ke dalam *software Autocad 2012* untuk diolah, sehingga dapat diketahui sudut kerucut dan tinggi api yang dihasilkan. Dari sudut api yang diperoleh ini kemudian dapat kita tentukan kecepatan pembakaran laminar suatu api. Apabila gambar telah dimasukkan maka kita kecilkan gambar hingga didapat diameter *burner* 23 mm yang merupakan diameter luar *burner* yang digunakan seperti pada gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Proses Pengolahan Visualisasi Api Sesuai Ukuran Sebenarnya

Setelah itu dapat ditentukan sudut kerucut dan tinggi api. Sehingga visualisasi api akan tampak seperti pada gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Proses Pengukuran Sudut Api dan Tinggi Api Pada Autocad 2012

Pengukuran tinjauan sudut api dilihat dari gambar diatas dimana sudut api yang diambil sudut api *premixed* dan untuk pengukuran tinggi api pada gambar diatas terlihat tinggi api yang lebih rendah tinggi api *premixed* dan yang paling tinggi api difusi dan diambil

api difusi, hal ini dikarenakan tinggi api difusi adalah sebagai indikator pembakaran sempurna dimana semakin rendah api difusi semakin sempurna proses pembakarannya.

4.2 Perhitungan Data

Perhitungan data ini dilakukan untuk mendapatkan pola kecenderungan dari data hasil penelitian karakteristik pembakaran minyak nabati dan udara dengan berbagai variasi *equivalence ratio* (ϕ). Berikut ini adalah perhitungan data hasil penelitian.

Untuk mendapatkan kecepatan reaktan diperoleh dari minyak jarak :

$$v = \frac{Q_{fuel} + Q_{air}}{A_b} = \frac{0.178 + 25}{3.46} = 7.276$$

Dimana:

Q_{fuel} = debit aliran bahan bakar (cm^3/s)

Q_{air} = debit aliran udara (cm^3/s)

A_b = luas bagian melintang *burner* (cm^2)

Sudut api didapat dari hasil penelitian dengan visualisasi api, dan kecepatan Pembakaran Laminer minyak jarak didapat dari:

$$S_L = v \cdot \sin \alpha = (7.276) \cdot \sin 20^\circ = 2.488$$

Dimana:

S_L = kecepatan pembakaran laminer (cm/s)

v = kecepatan reaktan (cm/s)

α = sudut api yang terbentuk ($^\circ$)

Tabel 4.1 Data Hasil Penelitian *Bunsen Burner* Minyak Jarak

<i>Equivalence Ratio</i> ϕ	Kecepatan Reaktan (cm/s)	Sudut Api α ($^\circ$)	Kecepatan Pembakaran Laminer (cm/s)
1.73	7.276	20	2.488
1.30	9.684	21	3.470
1.04	12.094	24	4.919

Tabel 4.2 Data Hasil Penelitian *Perforated Burner* Minyak Jarak

<i>Equivalence Ratio</i> ϕ	Kecepatan Reaktan (cm/s)	Sudut Api α (°)	Kecepatan Pembakaran Laminer <i>Bunsen</i> (cm/s)	Kecepatan Pembakaran Laminer <i>Perforated</i> (cm/s)	Faktor Koreksi
1.73	7.276	21	2.488	2.607	0.954
1.30	9.684	24	3.470	3.938	0.881
1.04	12.094	29	4.919	5.863	0.838
Faktor Koreksi Rata-rata					0.891

Untuk mendapatkan kecepatan reaktan diperoleh dari minyak kelapa :

$$v = \frac{Q_{fuel} + Q_{air}}{Ab} = \frac{0.286 + 25}{3.46} = 7.308$$

Dimana:

Q_{fuel} = debit aliran bahan bakar (cm³/s)

Q_{air} = debit aliran udara (cm³/s)

Ab = luas bagian melintang *burner* (cm²)

Sudut api didapat dari hasil penelitian dengan visualisasi api, dan kecepatan Pembakaran Laminer minyak kelapa didapat dari:

$$S_L = v \cdot \sin \alpha = (7.308) \cdot \sin 20^\circ = 2.499$$

Dimana:

S_L = kecepatan pembakaran laminer (cm/s)

v = kecepatan reaktan (cm/s)

α = sudut api yang terbentuk (°)

Tabel 4.3 Data Hasil Penelitian *Bunsen Burner* Minyak Kelapa

<i>Equivalence Ratio</i> ϕ	Kecepatan Reaktan (cm/s)	Sudut Api α (°)	Kecepatan Pembakaran Laminer (cm/s)
2.001	7.308	20	2.499
1.500	9.715	22	3.639
1.200	12.126	23	4.738
1.000	14.533	21	5.208
0.857	16.941	25	7.159

Tabel 4.4 Data Hasil Penelitian *Perforated Burner* Minyak Kelapa

<i>Equivalence Ratio</i> Φ	Kecepatan Reaktan (cm/s)	Sudut Api α (°)	Kecepatan Pembakaran Laminar <i>Bunsen</i> (cm/s)	Kecepatan Pembakaran Laminar <i>Perforated</i> (cm/s)	Faktor Koreksi
2.001	7.308	15	2.499	1.891	1.321
1.500	9.715	18	3.639	3.002	1.212
1.200	12.126	23	4.738	4.738	1
1.000	14.533	25	5.208	6.142	0.847
0.857	16.941	38	7.159	10.429	0.686
Faktor Koreksi Rata-rata					1.013

Untuk mendapatkan kecepatan reaktan diperoleh dari minyak biji kapas :

$$v = \frac{Q_{fuel} + Q_{air}}{A_b} = \frac{0.306 + 25}{3.46} = 7.313 \text{ (cm/s)}$$

Dimana:

Q_{fuel} = debit aliran bahan bakar (cm³/s)

Q_{air} = debit aliran udara (cm³/s)

A_b = luas bagian melintang *burner* (cm²)

Sudut api didapat dari hasil penelitian dengan visualisasi api, dan kecepatan Pembakaran Laminar minyak biji kapas didapat dari:

$$S_L = v \cdot \sin \alpha = (7.313) \cdot \sin 23^\circ = 2.857$$

Dimana:

S_L = kecepatan pembakaran laminar (cm/s)

v = kecepatan reaktan (cm/s)

α = sudut api yang terbentuk (°)

Tabel 4.5 Data Hasil Penelitian *Bunsen Burner* Minyak Biji Kapas

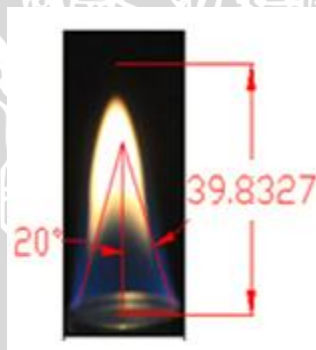
<i>Equivalence Ratio</i> ϕ	Kecepatan Reaktan (cm/s)	Sudut Api α (°)	Kecepatan Pembakaran Laminar (cm/s)
1.801	7.313	23	2.857
1.351	9.271	20	3.324
1.080	12.131	23	4.470
0.900	14.539	29	7.048

Tabel 4.6 Data Hasil Penelitian *Perforated Burner* Minyak Biji Kapas

<i>Equivalence Ratio</i> ϕ	Kecepatan Reaktan (cm/s)	Sudut Api α (°)	Kecepatan Pembakaran Laminer <i>Bunsen</i> (cm/s)	Kecepatan Pembakaran Laminer <i>Perforated</i> (cm/s)	Faktor Koreksi
1.801	7.313	20	2.857	2.501	1.142
1.351	9.271	24	3.324	3.954	0.840
1.080	12.131	28	4.470	5.695	0.832
0.900	14.539	38	7.048	8.951	0.787
Faktor Koreksi Rata-rata					0.9

Dari data yang dihasilkan diatas didapat bahwa ada perbedaan antara kecepatan pembakaran laminer *bunsen burner* dengan kecepatan pembakaran laminer *perforated burner* walaupun perbedaan tersebut cenderung kecil. Hal ini menunjukkan bahwa rumus kecepatan pembakaran laminer pada *bunsen burner* tidak dapat langsung digunakan untuk mengukur kecepatan pembakaran laminer pada *perforated burner*.

Dari hasil tinggi api juga didapat dari visualisasi api yang terlihat dari contoh gambar Bunsen minyak Jarak: (satuan mm)



Pada gambar diatas dilihat pada equivalence ratio 1.73 dengan tinggi Api 39.832 mm, dan hal ini sama seperti minyak kelapa dan minyak biji kapas.

Tabel 4.7 Data Tinggi Api Minyak Jarak Hasil Penelitian

<i>Equivalence Ratio</i> Φ	Tinggi Api Bunsen Burner (mm)	Tinggi Api Perforated Burner (mm)
1.73	39.832	40.252
1.30	39.472	35.896
1.04	27.401	35.638
0.86	Blow OFF	32.356

Tabel 4.8 Data Tinggi Api Minyak Kelapa Hasil Penelitian

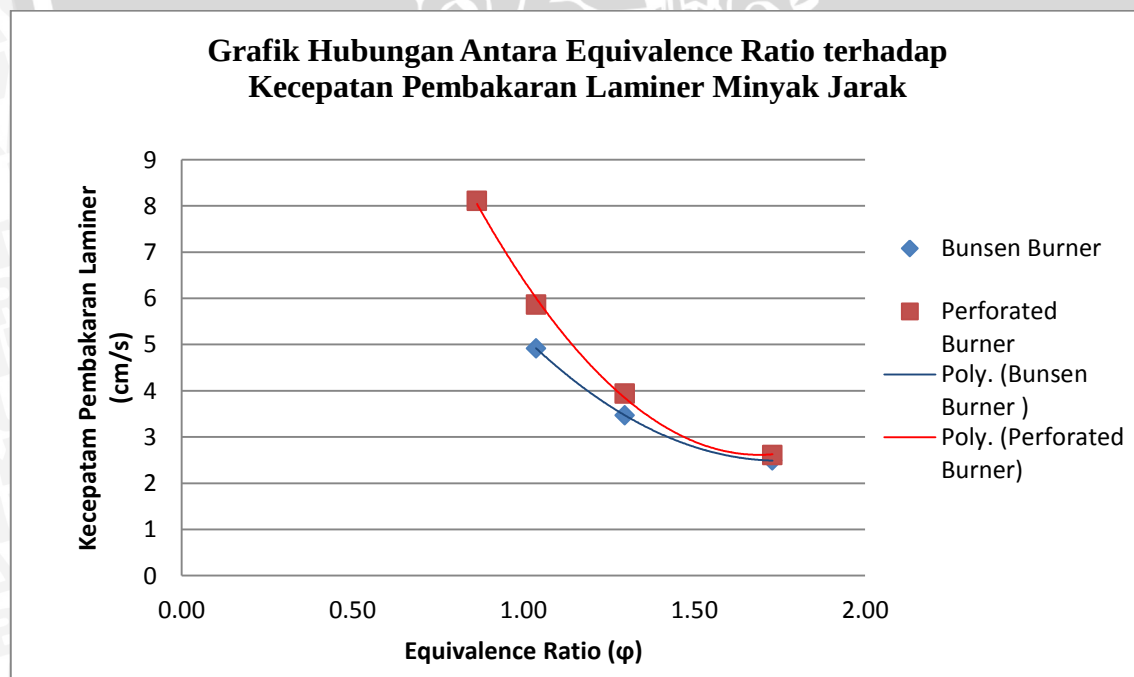
<i>Equivalence Ratio</i> Φ	Tinggi Api Bunsen Burner (mm)	Tinggi Api Perforated Burner (mm)
2.001	54.190	53.295
1.500	46.066	48.083
1.200	43.945	35.553
1.000	42.379	29.808
0.857	35.652	26.296

Tabel 4.9 Data Tinggi Api Minyak Kapas Hasil Penelitian

<i>Equivalence Ratio</i> ϕ	Tinggi Api Bunsen Burner (mm)	Tinggi Api Perforated Burner (mm)
1.801	64.487	54.706
1.351	61.137	38.581
1.080	47.447	35.941
0.900	33.557	27.717

4.3 Pembahasan

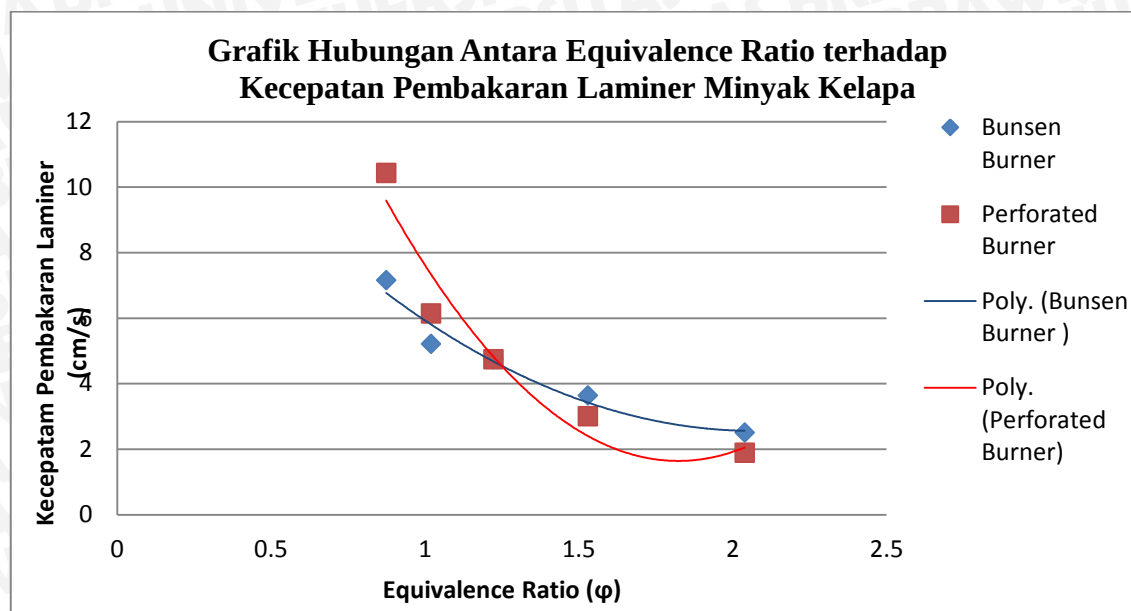
4.3.1 Hubungan Antara *Equivalence Ratio* Terhadap Kecepatan Pembakaran Laminer Minyak Jarak



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara *Equivalence Ratio* Terhadap Kecepatan Pembakaran Laminer Minyak Jarak.

Berdasarkan gambar 4.4 diatas ditunjukkan dari kecepatan pembakaran dari variasi *equivalence ratio* 0.86, 1.04, 1.3, 1.73 pada *Bunsen burner* memiliki nilai kecepatan pembakaran api laminar dari ratio 1.04 sampai 1.73 secara berurutan sebesar 4.919, 3.470, 2.488 cm/s dan mengalami *blow off* pada *equivalence ratio* 0.86, pada *Perforated burner* memiliki nilai kecepatan pembakaran api laminar dari ratio 0.86 sampai 1.73 secara berurutan sebesar 8.109, 5.863, 3.938, 2.607 cm/s. Dimana semakin kecil *equivalence ratio* atau semakin kaya bahan bakar maka kecepatan pembakaran semakin tinggi. Meningkatnya kecepatan pembakaran dikarenakan massa udara yang semakin besar akan mempengaruhi kecepatan reaktan, sehingga kecepatan reaktan ikut meningkat. Selain itu, peningkatan kecepatan pembakaran juga disebabkan oleh pembakaran yang terjadi mendekati sempurna, dimana bahan bakar yang bercampur dengan udara seluruhnya terbakar, hal ini yang menyebabkan *equivalence ratio* 1.04 (kondisi stoikiometri) Kecepatan pembakarannya paling tinggi. Pada *perforated burner* terlihat lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan *Bunsen burner* hal ini di karenakan pada kecepatan api laminar hal yang mempengaruhi adalah konduktifitas termal dimana pada *perforated burner* memiliki konduktifitas termal yang lebih tinggi dari pada *Bunsen burner* yang disebabkan pada *perforated burner* memiliki *perforated plate* dimana *plate* tersebut tidak terdapat pada *Bunsen burner*, sehingga konduktifitas termal dari *perforated* disebabkan dari *plate* dari *perforated* dan dinding *burner* sedangkan *Bunsen burner* hanya dari dinding *burner* saja. Konduktifitas termal yang tinggi mengakibatkan perubahan *temperature* yang tinggi, *temperature* yang tinggi menyebabkan kenaikan nilai kecepatan pembakaran sehingga pada nilai kecepatan pembakaran pada *perforated burner* lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan *Bunsen burner*.

4.3.2 Hubungan Antara *Equivalence Ratio* terhadap Kecepatan Pembakaran Laminer Minyak Kelapa

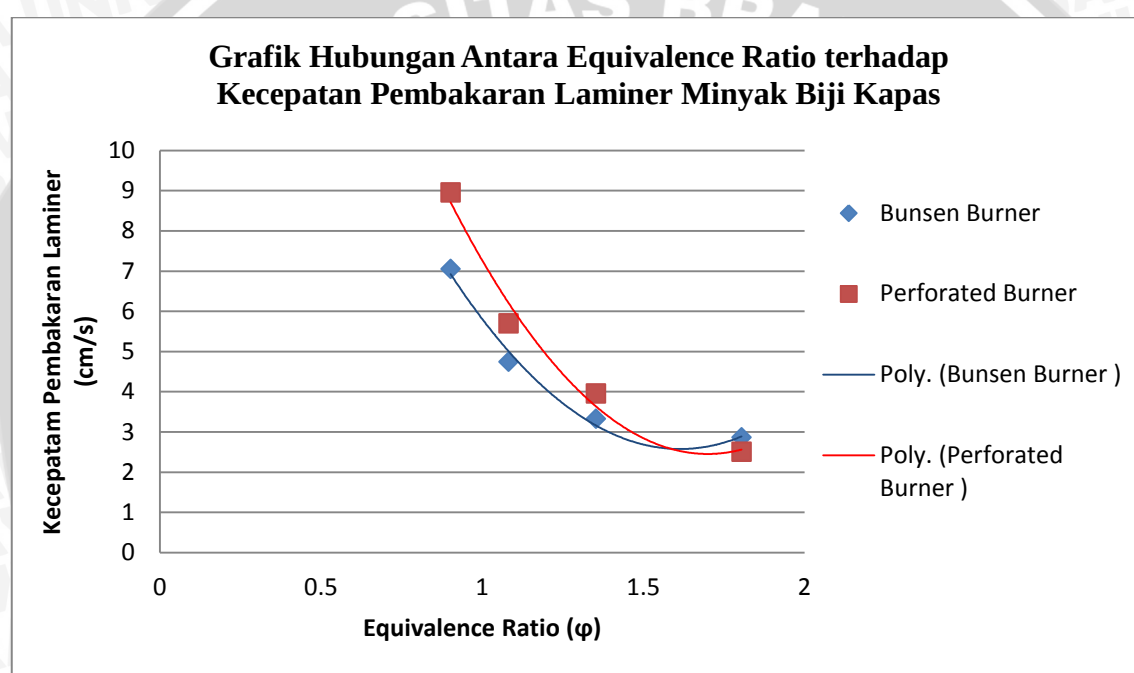


Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara *Equivalence Ratio* Terhadap Kecepatan Pembakaran Laminer Minyak Kelapa.

Berdasarkan gambar 4.5 diatas ditunjukan dari kecepatan pembakaran dari variasi *equivalence ratio* 0.85, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0 pada *Bunsen burner* memiliki nilai kecepatan pembakaran api laminar dari ratio 0.85 sampai 2.0 secara berurutan sebesar 7.15, 5.2, 4.73, 3.63, 2.49 cm/s dan, pada *Perforated burner* memiliki nilai kecepatan pembakaran api laminar dari ratio 0.85 sampai 2.0 secara berurutan sebesar 10.42, 6.14, 4.73, 3.0, 1.89 cm/s. Dimana semakin kecil *equivalence ratio* atau semakin kaya bahan bakar maka kecepatan pembakaran semakin tinggi. Meningkatnya kecepatan pembakaran dikarenakan massa udara yang semakin besar akan mempengaruhi kecepatan reaktan, sehingga kecepatan reaktan ikut meningkat. Selain itu, peningkatan kecepatan pembakaran juga disebabkan oleh pembakaran yang terjadi mendekati sempurna, dimana bahan bakar yang bercampur dengan udara seluruhnya terbakar, hal ini yang menyebabkan *equivalence ratio* 1.0 (kondisi stoikiometri) Kecepatan pembakarannya paling tinggi. Pada *perforated burner* terlihat lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan *Bunsen burner* hal ini di karenakan pada kecepatan api laminar hal yang mempengaruhi adalah konduktifitas termal dimana pada *perforated burner* memiliki konduktifitas termal yang lebih tinggi dari pada *Bunsen burner* yang disebabkan pada *perforated burner* memiliki *perforated plate* dimana *plate* tersebut tidak terdapat pada *Bunsen*

burner, sehingga konduktifitas termal dari *perforated* disebabkan dari *plate* dari *perforated* dan dinding *burner* sedangkan *Bunsen burner* hanya dari dinding *burner* saja. Konduktifitas termal yang tinggi mengakibatkan perubahan *temperature* yang tinggi, *temperature* yang tinggi menyebabkan kenaikan nilai kecepatan pembakaran sehingga pada nilai kecepatan pembakaran pada *perforated burner* lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan *Bunsen burner*.

4.3.3 Hubungan Antara *Equivalence Ratio* terhadap Kecepatan Pembakaran Laminer Minyak Biji Kapas

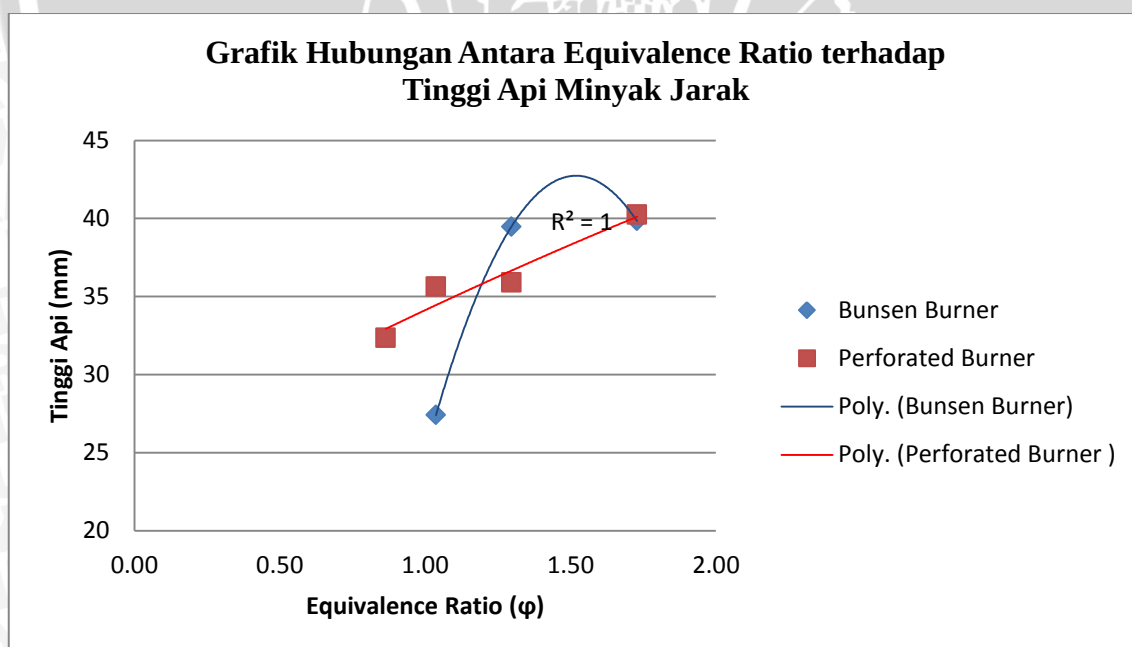


Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara *Equivalence Ratio* Terhadap Kecepatan Pembakaran Laminer Minyak Biji Kapas.

Berdasarkan gambar 4.6 diatas ditunjukan dari kecepatan pembakaran dari variasi *equivalence ratio* 0.9, 1.08, 1.35, 1.80 pada *Bunsen burner* memiliki nilai kecepatan pembakaran api laminar dari ratio 0.9 sampai 1.80 secara berurutan sebesar 7.04, 4.74, 3.32, 2.85 cm/s dan pada *Perforated burner* memiliki nilai kecepatan pembakaran api laminar dari ratio 0.9 sampai 1.80 secara berurutan sebesar 8.95, 5.69, 3.95, 2.50 cm/s. Dimana semakin kecil *equivalence ratio* atau semakin kaya bahan bakar maka kecepatan pembakaran semakin tinggi. Meningkatnya kecepatan pembakaran dikarenakan massa udara yang semakin besar akan mempengaruhi kecepatan reaktan,

sehingga kecepatan reaktan ikut meningkat. Selain itu, peningkatan kecepatan pembakaran juga disebabkan oleh pembakaran yang terjadi mendekati sempurna, dimana bahan bakar yang bercampur dengan udara seluruhnya terbakar, hal ini yang menyebabkan *equivalence ratio* 1.08 (kondisi stoikiometri) Kecepatan pembakarannya paling tinggi. Pada *perforated burner* terlihat lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan *Bunsen burner* hal ini di karenakan pada kecepatan api laminar hal yang mempengaruhi adalah konduktifitas termal dimana pada *perforated burner* memiliki konduktifitas termal yang lebih tinggi dari pada *Bunsen burner* yang disebabkan pada *perforated burner* memiliki *perforated plate* dimana *plate* tersebut tidak terdapat pada *Bunsen burner*, sehingga konduktifitas termal dari *perforated* disebabkan dari *plate* dari *perforated* dan dinding *burner* sedangkan *Bunsen burner* hanya dari dinding *burner* saja. Konduktifitas termal yang tinggi mengakibatkan perubahan *temperature* yang tinggi, *temperature* yang tinggi menyebabkan kenaikan nilai kecepatan pembakaran sehingga pada nilai kecepatan pembakaran pada *perforated burner* lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan *Bunsen burner*.

4.3.4 Hubungan Antara *Equivalence Ratio* Terhadap Tinggi Api Minyak Jarak

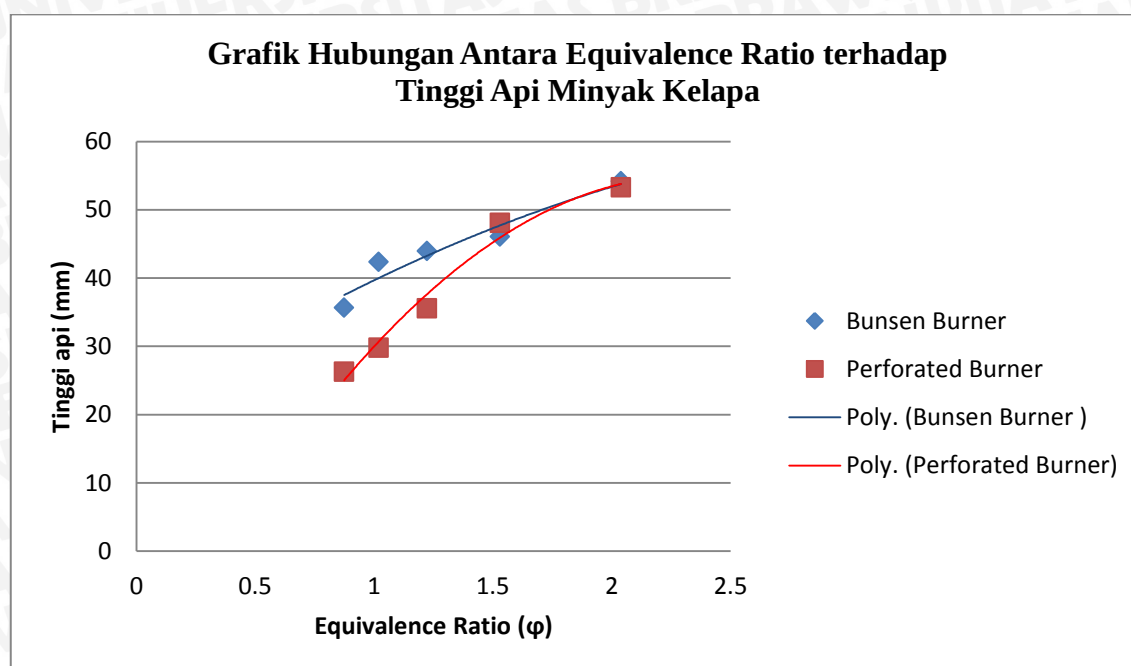


Gambar 4.7 Grafik Hubungan Antara *Equivalence Ratio* Terhadap Tinggi api Minyak Jarak.

Pada gambar 4.7 menunjukkan hubungan antara *Equivalence Ratio* terhadap Tinggi Api dari variasi *Equivalence Ratio* yaitu 0.86, 1.04, 1.3, 1.73 pada *Bunsen burner* memiliki nilai tinggi api dari ratio 1.04 sampai 1.73 secara berurutan sebesar 27.40, 39.47, 39.83 mm, dan mengalami *blow off* pada *equivalence ratio* 0.86, pada *Perforated burner* memiliki nilai tinggi api dari ratio 0.86 sampai 1.73 secara berurutan sebesar 32.35, 35.63, 35.89, 40.25 mm. Dimana semakin kecil *equivalence ratio* atau semakin kaya bahan bakar memiliki tinggi api yang semakin kecil. Penurunan tinggi api ini disebabkan karena pembakaran yang terjadi mendekati kondisi stoikiometrinya dimana bahan bakar yang terbakar pada zona premixed lebih besar dari *equivalence ratio* 1.3 dan 1.73 sehingga bahan bakar yang terbakar secara difusi semakin berkurang dan menyebabkan pembakaran yang sangat dekat dengan mulut *burner* sehingga tinggi api yang terbentuk semakin pendek.

Pada perforated burner reaktan yang menuju burner menumbuk perforated plate sehingga tertahan dan mengembun terlebih dahulu sebelum terbakar pada zona reaksi hal ini menyebabkan tinggi api pada perforated burner lebih kecil dari Bunsen Burner, dimana pada Bunsen Burner tidak terhambat oleh plate yang mana plate ini tidak ada pada Bunsen Burner sehingga reaktan langsung terbakar di zona reaksi hal ini menyebabkan tinggi api Bunsen burner lebih tinggi dibandingkan dengan tinggi api perforated Burner.

4.3.5 Hubungan Antara Equivalence Ratio Terhadap Tinggi Minyak Kelapa

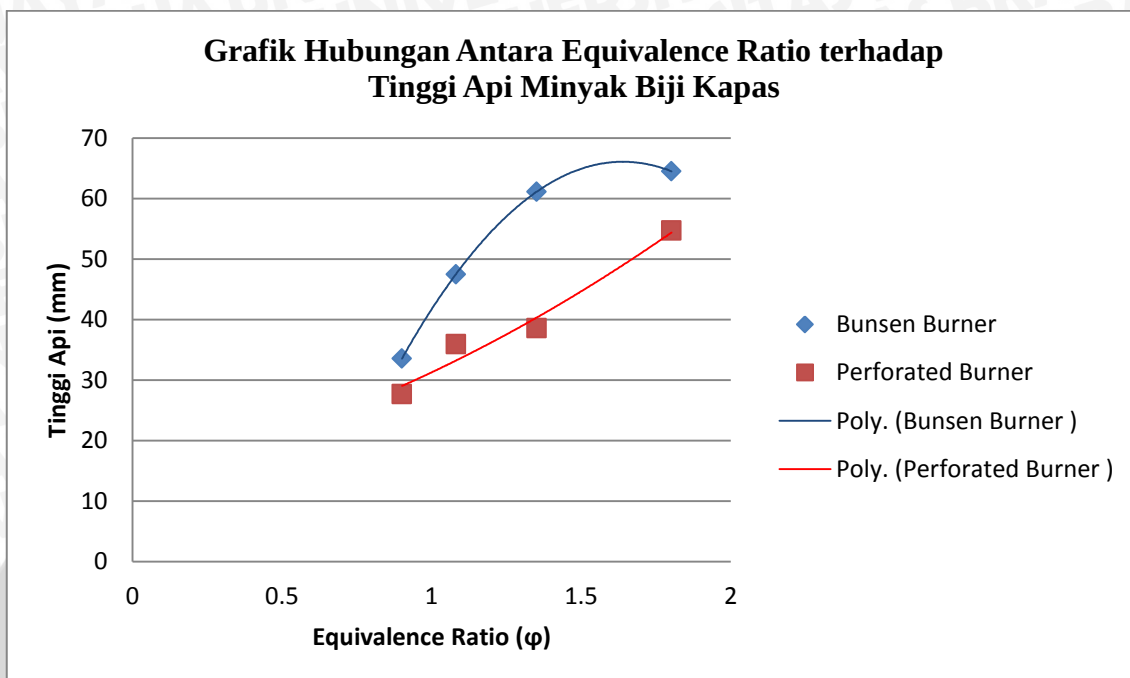


Gambar 4.8 Grafik Hubungan Antara *Equivalence Ratio* Terhadap Tinggi api Minyak Kelapa.

Berdasarkan gambar 4.8 diatas hubungan antara *Equivalence Ratio* terhadap Tinggi Api dari variasi *Equivalence Ratio* 0.85, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0 pada *Bunsen burner* memiliki nilai tinggi api ratio 0.85 sampai 2.0 secara berurutan sebesar 35.65, 42.37, 43.94, 46.06, 54.19 mm dan, pada *Perforated burner* memiliki nilai tinggi api dari ratio 0.85 sampai 2.0 secara berurutan sebesar 26.29, 29.8, 35.55, 48.08, 53.29 mm. Dimana semakin kecil *equivalence ratio* atau semakin kaya bahan bakar memiliki tinggi api yang semakin kecil. Penurunan tinggi api ini disebabkan karena pembakaran yang terjadi mendekati kondisi stoikiometrinya dimana bahan bakar yang terbakar pada zona premixed lebih besar dari *equivalence ratio* 1.5 dan 2.0 sehingga bahan bakar yang terbakar secara difusi semakin berkurang dan menyebabkan pembakaran yang sangat dekat dengan mulut *burner* sehingga tinggi api yang terbentuk semakin pendek.

Pada perforated burner reaktan yang menuju burner menumbuk perforated plate sehingga tertahan dan mengembun terlebih dahulu sebelum terbakar pada zona reaksi hal ini menyebabkan tinggi api pada perforated burner lebih kecil dari Bunsen Burner, dimana pada Bunsen Burner tidak terhambat oleh plate yang mana plate ini tidak ada pada Bunsen Burner sehingga reaktan langsung terbakar di zona reaksi hal ini menyebabkan tinggi api Bunsen burner lebih tinggi dibandingkan dengan tinggi api perforated Burner.

4.3.6 Hubungan Antara Equivalence Ratio Terhadap Tinggi Api Minyak Biji Kapas



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Antara *Equivalence Ratio* Terhadap Tinggi api Minyak Biji Kapas.

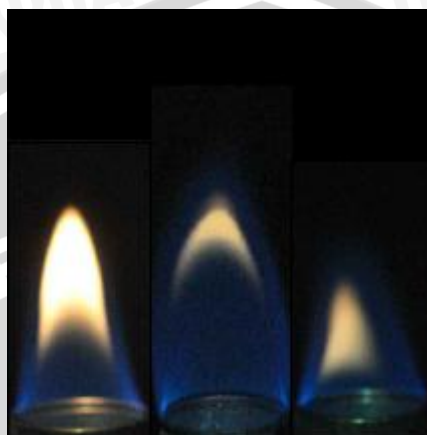
Berdasarkan gambar 4.4 diatas Hubungan Antara *Equivalence Ratio* Terhadap Tinggi api dengan variasi *equivalence ratio* 0.9, 1.08, 1.35, 1.80 pada *Bunsen burner* memiliki nilai tinggi api dari ratio 0.9 sampai 1.80 secara berurutan sebesar 33.55, 47.44, 61.13, 64.48 mm dan pada *Perforated burner* memiliki nilai tinggi api dari ratio 0.9 sampai 1.80 secara berurutan sebesar 27.71, 35.94, 38.58, 54.70 mm . Dimana semakin kecil *equivalence ratio* atau semakin kaya bahan bakar memiliki tinggi api yang semakin kecil. Penurunan tinggi api ini disebabkan karena pembakaran yang terjadi mendekati kondisi stoikiometrinya dimana bahan bakar yang terbakar pada zona premixed lebih besar dari *equivalence ratio* 1.35 dan 1.80 sehingga bahan bakar yang terbakar secara difusi semakin berkurang dan menyebabkan pembakaran yang sangat dekat dengan mulut *burner* sehingga tinggi api yang terbentuk semakin pendek.

Pada perforated burner reaktan yang menuju burner menumbuk perforated plate sehingga tertahan dan mengembun terlebih dahulu sebelum terbakar pada zona reaksi hal ini menyebabkan tinggi api pada perforated burner lebih kecil dari Bunsen Burner, dimana pada Bunsen Burner tidak terhambat oleh plate yang mana plate ini tidak ada

pada Bunsen Burner sehingga reaktan langsung terbakar di zona reaksi hal ini menyebabkan tinggi api Bunsen burner lebih tinggi dibandingkan dengan tinggi api perforated Burner.

4.3.7 Pola Api

4.3.7.1 Pola Api Bunsen dan Perforated Burner Minyak Jarak



1.73 1.3 1.04
Equivalence Ratio (ϕ)
(Pola Api Bunsen Burner)



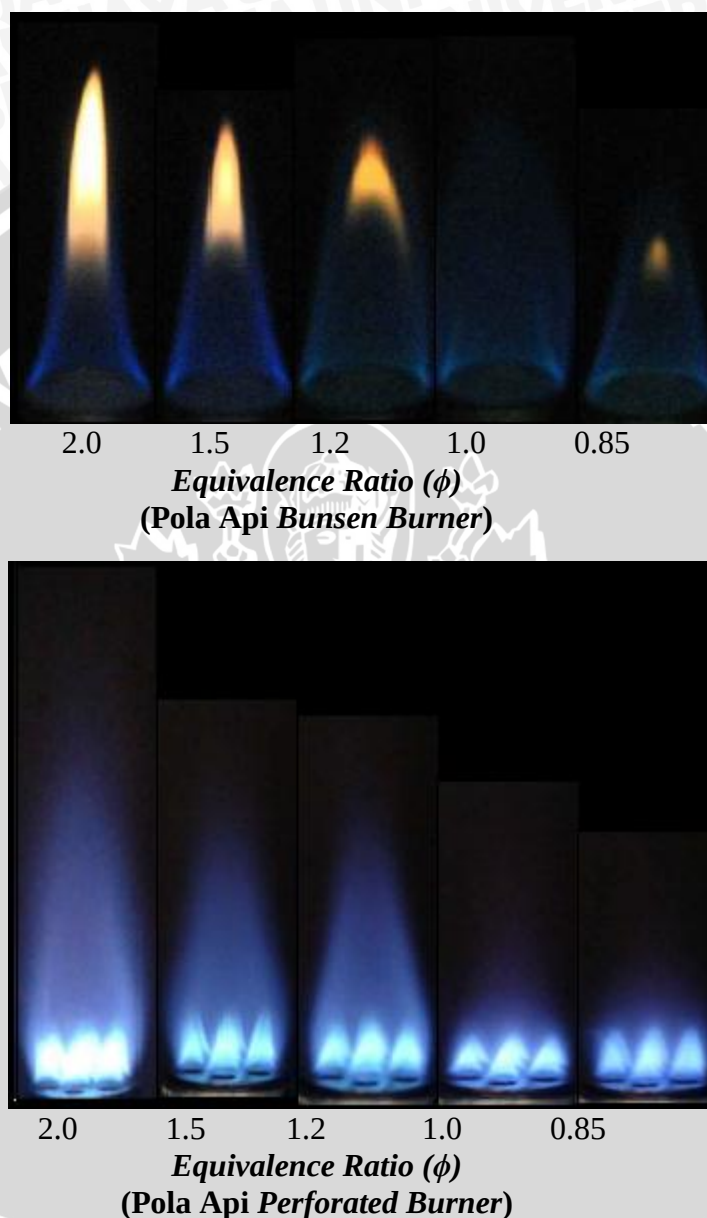
1.7 1.3 1.04 0.86
Equivalence Ratio (ϕ)
(Pola Api Perforated Burner)

Gambar 4.10 Pola api Bunsen dan perforated burner Minyak Jarak

Pada gambar 4.10 ditunjukkan pola api Bunsen dan perforated pada minyak jarak dengan variasi *equivalence ratio* yaitu 0.86, 1.04, 1.3, 1.73 pada gambar diatas terlihat semakin kaya udara maka pola api yang terlihat semakin pendek hingga *blow off* . hal ini terjadi karena semakin kaya udara menyebabkan bahan bakar memiliki udara yang berlebih sehingga bahan bakar yang terbakar secara difusi semakin berkurang dan

menyebabkan pembakaran yang sangat dekat dengan mulut *burner* sehingga tinggi api yang terbentuk semakin pendek hingga berakhir *blow off*.

4.3.7.2 Pola Api Bunsen dan Perforated Burner Minyak Kelapa

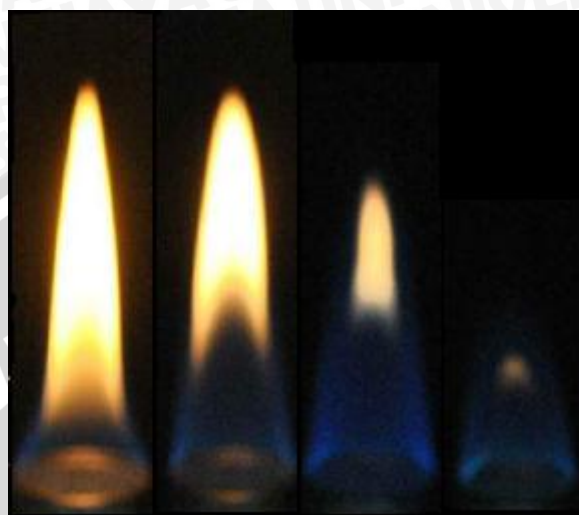


Gambar 4.11 Pola api Bunsen dan perforated burner Minyak Kelapa

Pada gambar 4.10 ditunjukkan pola api Bunsen dan perforated pada minyak kelapa dengan variasi *equivalence ratio* yaitu 0.85, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0 pada gambar diatas terlihat semakin kaya udara atau semakin besar *equivalence ratio* maka pola api yang terlihat semakin pendek hingga *blow off*. hal ini terjadi karena semakin kaya udara menyebabkan bahan bakar memiliki udara yang berlebih sehingga bahan bakar yang

terbakar secara difusi semakin berkurang dan menyebabkan pembakaran yang sangat dekat dengan mulut *burner* sehingga tinggi api yang terbentuk semakin pendek hingga berakhir *blow off*.

4.3.7.3 Pola Api Bunsen dan Perforated Burner Minyak Biji Kapas



1.8 1.35 1.08 0.9

Equivalence Ratio (ϕ)

(Pola Api Bunsen Burner)



1.8 1.35 1.08 0.9

Equivalence Ratio (ϕ)

(Pola Api Perforated Burner)

Gambar 4.13 Pola api Bunsen dan perforated burner Minyak Biji Kapas

Pada gambar 4.13 ditunjukkan pola api Bunsen dan perforated pada minyak biji kapas dengan variasi *equivalence ratio* yaitu 0.9, 1.08, 1.35, 1.8 pada gambar diatas terlihat semakin kaya udara maka pola api yang terlihat semakin pendek hingga *blow*

off . hal ini terjadi karena semakin kaya udara menyebabkan bahan bakar memiliki udara yang berlebih sehingga bahan bakar yang terbakar secara difusi semakin berkurang dan menyebabkan pembakaran yang sangat dekat dengan mulut *burner* sehingga tinggi api yang terbentuk semakin pendek hingga berakhir *blow off*.



BAB V

PENUTUP

4.4 Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan berdasarkan pembakaran *premixed* minyak nabati adalah sebagai berikut:

a. Minyak Jarak

Dengan variasi *equivalence ratio* 0.86, 1.04, 1.3, 1.73 pada *Bunsen burner* memiliki nilai kecepatan pembakaran laminar dari ratio 1.04 sampai 1.73 secara berurutan sebesar 4.919, 3.470, 2.488 cm/s dan mengalami *blow off* pada *equivalence ratio* 0.86, pada *Perforated burner* memiliki nilai kecepatan pembakaran laminar dari ratio 0.86 sampai 1.73 secara berurutan sebesar 8.109, 5.863, 3.938, 2.607 cm/s. Pada tinggi api variasi *Equivalence Ratio* yaitu 0.86, 1.04, 1.3, 1.73 pada *Bunsen burner* memiliki nilai tinggi api dari ratio 1.04 sampai 1.73 secara berurutan sebesar 27.40, 39.47, 39.83 mm, dan mengalami *blow off* pada *equivalence ratio* 0.86, pada *Perforated burner* memiliki nilai tinggi api dari ratio 0.86 sampai 1.73 secara berurutan sebesar 32.35, 35.63, 35.89, 40.25 mm.

b. Minyak Kelapa

Pada *equivalence ratio* 0.85, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0 pada *Bunsen burner* memiliki nilai kecepatan pembakaran laminar dari ratio 0.85 sampai 2.0 secara berurutan sebesar 7.15, 5.2, 4.73, 3.63, 2.49 cm/s dan, pada *Perforated burner* memiliki nilai kecepatan pembakaran laminar dari ratio 0.85 sampai 2.0 secara berurutan sebesar 10.42, 6.14, 4.73, 3.0, 1.89 cm/s. Pada Tinggi api *Equivalence Ratio* 0.85, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0 pada *Bunsen burner* memiliki nilai tinggi api ratio 0.85 sampai 2.0 secara berurutan sebesar 35.65, 42.37, 43.94, 46.06, 54.19 mm dan, pada *Perforated burner* memiliki nilai tinggi api dari ratio 0.85 sampai 2.0 secara berurutan sebesar 26.29, 29.8, 35.55, 48.08, 53.29 mm.

c. Minyak Biji Kapas

Pada variasi *equivalence ratio* 0.9, 1.08, 1.35, 1.80 pada *Bunsen burner* memiliki nilai kecepatan pembakaran laminar dari ratio 0.9 sampai 1.80 secara berurutan sebesar 7.04, 4.74, 3.32, 2.85 cm/s dan pada *Perforated burner* memiliki nilai kecepatan pembakaran laminar dari ratio 0.9 sampai 1.80 secara berurutan sebesar 8.95, 5.69, 3.95, 2.50 cm/s. Pada tinggi api *equivalence ratio*

0.9, 1.08, 1.35, 1.80 pada *Bunsen burner* memiliki nilai tinggi api dari ratio 0.9 sampai 1.80 secara berurutan sebesar 33.55, 47.44, 61.13, 64.48 mm dan pada *Perforated burner* memiliki nilai tinggi api dari ratio 0.9 sampai 1.80 secara berurutan sebesar 27.71, 35.94, 38.58, 54.70 mm.

- d. Semakin kecil *equivalence ratio* semakin besar nilai kecepatan pembakaran laminernya hal ini disebabkan karena massa udara yang semakin besar akan mempengaruhi kecepatan reaktan, sehingga kecepatan reaktan ikut meningkat. Sehingga kecepatan pembakaran laminernya semakin besar.
- e. Dari hasil penelitian didapat bahwa persamaan kecepatan pembakaran laminar pada bunsen burner dapat digunakan pada perforated burner karena perbedaan hasil penelitian yang didapat relatif kecil
- f. Semakin kecil *equivalence ratio* semakin kecil tinggi apinya hal ini disebabkan semakin kaya udara mengakibatkan kecilnya bahan bakar yang terbakar secara difusi sehingga hal ini menyebabkan tinggi api semakin menurun

4.5 Saran

- a. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan mengembangkan dengan cara simulasi agar dapat dibandingkan dengan hasil eksperimental secara langsung.
- b. Penelitian pembakaran ini mungkin bisa dikembangkan dengan mengganti variasi bahan bakar minyak nabati yang lainnya agar dapat mengganti bahan bakar yang sudah mulai habis.

