

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Konversi dari energi kimia menjadi energi mekanik saat ini sangat luas digunakan. Salah satunya adalah melalui proses pembakaran. Proses pembakaran ini baik berupa pembakaran dalam (*internal combustion*) maupun pembakaran luar (*eksternal combustion*) menjadi metode pembangkitan energi yang digunakan di berbagai bidang, seperti industri, rumah tangga, dan transportasi. Karena penggunaannya yang luas dan sangat vital, teknik pembakaran ini terus dikembangkan untuk mendapatkan hasil yang maksimal dan efisien. Berbagai penelitian pun telah dilakukan dengan maksud untuk lebih memahami tentang fenomena-fenomena yang terjadi dalam proses pembakaran. Pengujian-pengujian dilakukan untuk mendapatkan metode pembakaran yang lebih efisien, bersih, dan stabil.

Salah satu metode yang digunakan untuk memperoleh pembakaran yang lebih bersih sesuai dengan penelitian yang dilakukan yaitu dengan melakukan proses pembakaran pada kondisi campuran dengan nilai udara lebih (*excess air*) yang tinggi atau kaya oksigen atau miskin bahan bakar sehingga pembakaran yang dihasilkan akan lebih sempurna. Namun efek sampingnya, pembakaran dalam kondisi ini akan berakibat terjadinya ketidakstabilan nyala api karena timbulnya fenomena mudah padam (*blow-off*). Hal ini tentunya sangat tidak diinginkan terjadi pada suatu alat pembakar (*burner*) karena tidak efisien untuk digunakan dan dapat menyebabkan kerugian terutama masalah biaya seperti pada kasus perusahaan pembangkit listrik dan industri-industri lain yang menggunakan tungku pembakar (*furnace*).

Fenomena pembakaran yang juga berhubungan dengan kestabilan nyala adalah fenomena *flashback* atau *backfire* dan *lift-off* yang telah banyak diteliti secara teoritis maupun eksperimental. Fenomena pembakaran dan parameter pembakaran yang lain seperti berbagai jenis nyala (*flame*), tinggi nyala,

peregangan nyala (*flame stretching*), daerah resirkulasi (*recirculation zone*), batas penyalaan (*flammability limit*), beban pembakaran (*burning load*), energi minimum penyalaan (*minimum ignition energy*) dan lain sebagainya telah banyak dianalisa. Dan untuk mencapai kestabilan nyala dapat dilakukan dengan berbagai cara. Dapat melalui penambahan peralatan pembakar seperti benda padat (*bluff-body*), penstabil nyala berupa *ring, rod, flame holder* maupun pembangkit panas seperti *ignitors* dan *pilot flame*.

Hal yang penting dalam mendesain pembakar gas (*burner*) adalah mencegah terjadinya *flash back* dan *lift-off*. Batas kestabilan nyala berhubungan erat dengan fenomena *flash back, lift-off, blowoff* serta warna nyala pada tabung pembakar. *Flash back* merupakan kejadian sesaat terjadi dimana aliran bahan bakar dikurangi atau ditutup. *Flash back* terjadi ketika nyala masuk dan merambat kedalam tabung pembakar port tanpa efek pendingin (*quenching*). Salah satu teknik pembakaran yang sedang banyak diteliti adalah penerapan nyala terangkat atau *lifted flame*. Nyala terangkat timbul karena peristiwa *lift-off* yakni berpindahnya nyala tidak lagi menempel di ujung burner tapi pada jarak tertentu. Namun nyala terangkat mempengaruhi kestabilan nyala karena timbulnya fenomena mudah padam (*blow-off*) [1-3].

Pada aplikasinya pengangkatan flame (*flame lifting*) tidak diinginkan karena dapat menimbulkan lepasnya gas yang tidak terbakar atau pembakaran yang tidak sempurna. Juga pemantikan sulit dicapai diatas batas pengangkatan (*lifting limit*), serta menimbulkan bising [4].

Stabilitas nyala umumnya dapat dicapai dengan membuat aliran resirkulasi atau aliran vortek baik itu dengan *bluff body* atau dengan *swirl* [5]. Faktor yang membatasi stabilitas nyala adalah kecepatan rambat nyala bagian depan. Kecepatan nyala merupakan fungsi dari jenis bahan bakar, rasio udara-bahan bakar (*air-fuel ratio*) dan turbulensi. Pada kebanyakan bahan bakar hidrokarbon kecepatan nyala dalam aliran laminar umumnya kurang dari 0,5 m/s, meskipun kemungkinan dapat mencapai kestabilan nyala pada aliran turbulen di mana kecepatan rata-rata lebih besar dari kecepatan nyala laminar [6]. Pemegang cincin digunakan untuk memberikan kestabilan pada nyala.

Parameter-parameter yang perlu diperhatikan yang mempengaruhi nyala menjadi *flashback* seperti jenis bahan bakar, rasio ekuivalen, kecepatan aliran serta geometri pembakar. Hubungan antara udara primer dengan laju gas yang masuk pembakar perluasan *port* sangat berpengaruh terhadap kurva stabilitas nyala.

Penelitian tentang perancangan sistem *burner* juga berkembang terutama *burner* pada pembangkit tenaga listrik serta alat transportasi. Aspek utama perancangan *burner* dalam hubungannya dengan nyala adalah stabilitas nyala. Salah satu metode unik untuk memperluas daerah kestabilan nyala adalah dengan memasang ring pada ujung keluaran *burner*. Daerah nyala akan lebih luas dengan semakin mengecilnya diameter luar ring. Peningkatan celah antara diameter luar ring dengan diameter dalam tabung akan meningkatkan ketahanan terhadap fenomena *blow-off* dan *flashback*. Hal ini diduga karena adanya daerah resirkulasi di dalam daerah gelap. Penggunaan ring ini juga merubah tinggi nyala premix yang dipengaruhi oleh daerah resirkulasi. Daerah resirkulasi menyebabkan terjadinya perubahan kecepatan dan arah partikel gas yang belum terbakar.

Sedangkan dari aspek lingkungan rancangan *burner* yang ada sekarang cenderung mengeluarkan emisi  $\text{NO}_x$  yang tinggi. Untuk itu perlu juga dipertimbangkan rancangan *burner* yang tidak hanya lebih baik dari aspek pembakarannya namun juga dari aspek emisinya. Penelitian penggunaan ring stabilizer telah terbukti juga menurunkan emisi  $\text{NO}_x$  [7]. Untuk mengembangkan *burner* yang unjuk kerjanya tinggi dan emisi polutannya rendah dibutuhkan penelitian yang menggabungkan kedua aspek ini maka akan dilakukan penelitian penggunaan ring sekaligus pemindahan nyala dari ujung *burner* ke ring.

Untuk mengembangkan sistem *burner* yang unjuk kerjanya tinggi dan emisi polutannya rendah dibutuhkan penelitian yang rinci tentang konfigurasi dan perilaku nyala yang mempengaruhi stabilitas nyalanya. Penggolongan nyala berdasarkan campuran bahan bakar dan udara yakni nyala *premix* dan nyala *nonpremix* membuat sistem *burner* tidak dapat dikendalikan pada rentang batas penyalaan. Untuk itu dibutuhkan nyala yang sebagian *premix* atau *partially premix* seperti *lifted flame* atau nyala terangkat. Penelitian tentang nyala terangkat sebagian besar terfokus pada struktur nyala dan stabilitas nyalanya ditinjau dari aspek pemadamannya atau *extinction* [8]. Penelitian awal telah dilakukan

menggunakan LPG sebagai bahan bakar nyala *lift-up* terbukti stabil seperti tampak pada Gambar 2 [9].



Gambar 1.1 Nyala api *lift-up*

Penelitian awal tentang fenomena ini telah dilakukan di Laboratorium Termodinamika Fakultas Teknik Universitas Indonesia atas bimbingan I Made Kartika Dhiputra [10-14]. Parameter yang diatur perubahannya pada setiap langkah percobaan adalah laju aliran udara, sedangkan laju aliran bahan bakarnya tetap. Ring penghalang nyala sebagai penyebab munculnya fenomena ini merupakan parameter bebas yang sering diteliti. Dimensi ring yakni tebal ring, serta sudut kemiringan ujung ring telah diteliti pengaruhnya terhadap fenomena ini. Sudut ujung ring mempengaruhi lompatan nyala yang akan berlangsung pada posisi yang berbeda dari ujung pembakar [10].

Tebal ring penghalang akan dapat menambah luas daerah stabilitas nyala pada diagram *Fuidge*. Semakin tebal ring, ternyata kejadian lompatan nyala terjadi pada posisi ring yang makin dekat dengan ujung pembakar [11]. Demikian pula diameter ring dalam dan diameter ring luar akan merubah posisi optimum terjadinya lompatan nyala [12]. Pengaruh ujung tabung pembakar terhadap fenomena ini juga telah diteliti dengan cara memasang *expansion barrel mouth*. Dari hasil penelitian awal telah diperoleh bahwa parameter geometri ring dan tabung pembakar mempengaruhi timbulnya *flame lift-up*.

Aplikasi pembakaran juga ditentukan oleh panjang atau tinggi nyala. Umumnya pada *burner* untuk sistem propulsi dibutuhkan nyala yang pendek sehingga dipergunakan nosel yang sangat kecil. Namun pada *burner* untuk ruang bakar (*combustion chamber*) atau tungku (*furnace*) di industri dibutuhkan nyala yang panjang untuk mencapai laju perpindahan panas yang merata sepanjang noselnya.

## 1.2 PERUMUSAN MASALAH

Fenomena *flame lift-up* dapat terjadi pada pembakaran gas di *Bunsen burner*. Nyala pembakaran gas dari *Bunsen burner* dihalangi oleh sebuah ring yang dipasang pada ketinggian tertentu dari ujung *burner*. Ring akan berfungsi seperti *flame holder* untuk menimbulkan efek peningkatan *heat loss* maupun pengurangan oksigen ke dalam daerah nyala. Pada kecepatan aliran udara dan bahan bakar (*air-fuel ratio*) tertentu akan terjadi fenomena *flame lift-up* yakni nyala akan melompat menjauhi ujung *burner* dan menyala stabil di ring tidak lagi di mulut *burner*. Sepintas fenomena ini mirip fenomena *lift-off* namun dengan jarak nyala yang lebih jauh dari mulut *burner* dan pada rentang rasio campuran udara dan bahan bakar yang lebih tinggi.

Fenomena *flame lift-up* yang akan diteliti berbeda dengan *lifted flame* atau nyala terangkat. Pada *lifted flame* tidak diperlukan adanya ring sehingga pengendalian kestabilan nyala sangat tergantung pada tabung *burner* dan campuran udara dan bahan bakar. Faktor geometri ring seperti ukuran diameter luar, diameter dalam, dan juga tebal ring memiliki kontribusi cukup penting untuk terjadinya fenomena *flame lift-up* ini karena hubungannya dengan luas hambatan ring yang mempengaruhi laju aliran *unburn fuel* sehingga stabilitas nyala api *premix* akan berbeda dengan kondisi tanpa pemakaian ring. Jarak pemasangan ring yang berbeda juga akan menghasilkan fenomena *flame lift-up* dan kestabilannya yang berbeda-beda pula. Selain pada kestabilan nyala api *premix*, fenomena *flame lift-up* ini juga berpengaruh terhadap perubahan panjang nyala api *premix* (*flame length*) akibat dimensi dan jarak ring yang berbeda-beda. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan diteliti panjang nyala api *premix* (*flame*

*length*) dan kestabilan nyalanya pada perubahan jarak pasang ring dan diameter dalam ring.

### 1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk mengamati fenomena *flame lift-up* yang terjadi pada nyala api *premix* (*premix flame*) pada pembakaran *premix* menggunakan bahan bakar propana. Hal yang hendak dicapai yaitu mengetahui kestabilan nyala api *premix* pada kondisi *lift-up* dan *blow-off* dalam hubungannya dengan :

1. Panjang nyala api *premix* dari mulut *barrel* dengan dan tanpa ring.
2. Variasi diameter dalam ring.
3. Jarak pasang ring dari mulut *barrel*.
4. Hasil perbandingan dalam diagram *Fuidge*.

### 1.4 BATASAN MASALAH

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang spesifik dan terarah serta demi tercapainya tujuan penelitian, maka penelitian dibatasi oleh hal-hal berikut ini:

1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan *Bunsen Burner* tipe RFM.
2. Alat ukur laju aliran adalah *Flame Propagation and Stability Unit P.A. Hilton ltd C551*.
3. Bahan bakar (*fuel*) yang digunakan adalah gas propana (*prophane*) konsentrasi tinggi, serta oksidator yang digunakan adalah udara sekitar.
4. Fenomena yang diteliti adalah fenomena *Lift-up* dan *Blow-off* pada kondisi menggunakan ring, fenomena *Blow-off* tanpa menggunakan ring, serta panjang nyala api *premix* pada kondisi tanpa ring dan menggunakan ring.
5. Karena tabung yang cukup panjang maka campuran bahan bakar-udara yang keluar dari mulut *barrel* dianggap homogen.
6. Tidak mengukur laju reaksi serta perambatannya, komposisi gas hasil pembakaran, dan perambatan panas pada dinding tabung pembakar (*barrel*).
7. Tidak meneliti proses yang terjadi di dalam ruang pencampur (*mixer*).

8. Perbedaan tekanan udara dan bahan bakar antara sebelum masuk *mixer* dan setelah masuk *mixer* dianggap sangat kecil sehingga bisa dianggap sama tekanannya.
9. Dalam analisa perhitungan maka diasumsikan sifat-sifat gas tidak terlalu banyak berubah sehingga dapat diasumsikan tetap.
10. Penelitian masih terbatas pada deskripsi fenomena dan temuan-temuan ekperimental.

### **1.5 METODOLOGI PENELITIAN**

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Tahap perumusan masalah, yaitu mencari variabel-variabel yang berpengaruh dalam percobaan, sekaligus referensi yang berkaitan.
2. Tahap kegiatan, yaitu merancang proses penelitian, melakukan pengujian alat, kalibrasi, dan melakukan percobaan-percobaan dan pengamatan.
3. Tahap penelitian dan pengambilan data, yaitu menyusun langkah-langkah percobaan, pengambilan data-data, dan melakukan pengolahan data.
4. Tahap penulisan skripsi, yaitu melakukan analisa terhadap data-data hasil penelitian yang didasarkan pada rumusan dan teori yang telah ada di berbagai literatur, dan selanjutnya menyajikannya dalam bentuk karya tulis skripsi.

### **1.6 SISTEMATIKA PENULISAN**

Dalam penyajian skripsi hasil penelitian ini yang bermula dari latar belakang masalah sampai pada kesimpulan hasil penelitian maka skripsi ini disusun sebagai berikut:

## **BAB I        PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

**BAB II      DASAR TEORI**

Bab ini berisi teori-teori sebagai landasan dan pendukung dalam melakukan kegiatan penelitian.

**BAB III     METODE PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan tentang alat-alat yang digunakan dalam penelitian dan juga kalibrasi alat yang diperlukan. Selain itu dijelaskan pula mengenai langkah-langkah dan kondisi yang dilakukan dalam penelitian dan pengambilan data.

**BAB V      HASIL DAN ANALISA**

Bab ini berisi data-data hasil penelitian, perhitungan data-data tersebut, grafik, serta analisis mengenai hasil yang diperoleh.

**BAB VI     KESIMPULAN**

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan berdasarkan tujuan penelitian dan hasil yang didapat.