

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

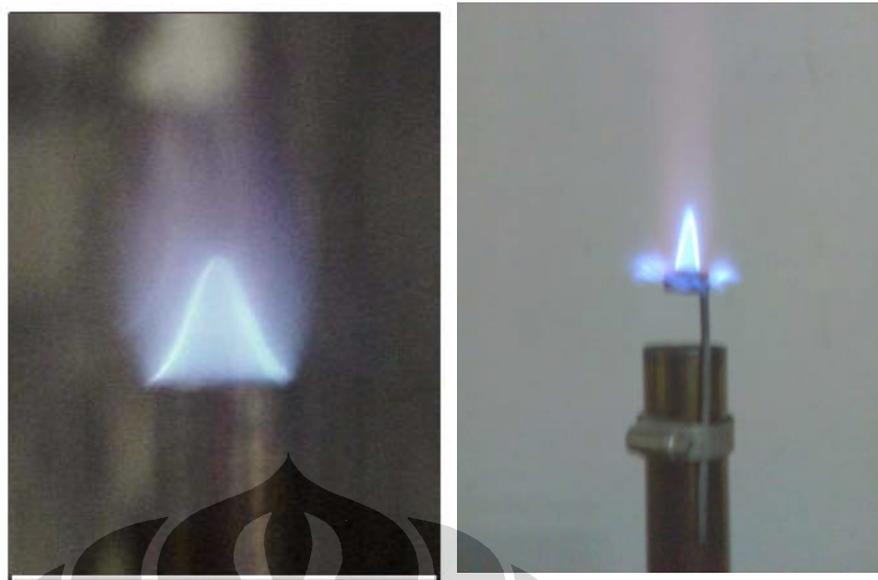
Berbagai langkah untuk memenuhi kebutuhan energi menjadi topik penting seiring dengan semakin berkurangnya sumber energi fosil yang ada. Sistem energi yang ada sekarang sebagian besar masih dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar pada pembangkit listrik tenaga uap, gas serta uap dan gas. Demikian pula halnya dengan sistem transportasi, serta berbagai proses di industri yang membutuhkan sumber panas dari hasil pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar. Kajian tentang pembakaran sangat mempengaruhi penghematan penggunaan bahan bakar yang semakin langka. Kajian eksperimental maupun kajian teoritis tentang pembakaran telah banyak dilakukan untuk lebih memahami fenomena pembakaran [1-5]. Simulasi dengan berbagai macam metode numerik semakin banyak dilakukan didukung kemajuan di bidang teknologi informasi [6-12]. Langkah-langkah tersebut pada dasarnya bertujuan untuk memperoleh metode baru membakar bahan bakar dengan lebih hemat, bersih dan stabil, sehingga pada akhirnya pemenuhan kebutuhan energi yang diperoleh dari proses pembakaran dapat lebih terjamin.

Berbagai macam metode telah diteliti baik dari aspek kuantitas dan kualitas aliran campuran udara dan bahan bakar maupun rekayasa peralatan *burner*. Dari aspek aliran campuran udara dan bahan bakar, salah satu metode untuk memperoleh pembakaran yang bersih adalah pembakaran pada kondisi campuran dengan nilai udara lebih (*excess air*) yang tinggi atau kaya oksigen atau miskin bahan bakar. Namun kondisi ini sangat mempengaruhi kestabilan nyala karena timbulnya fenomena mudah padam (*blow-off*). Fenomena pembakaran yang juga berhubungan dengan kestabilan nyala adalah fenomena *flash back* atau *back fire* dan *lift-off* yang telah banyak diteliti secara teoritis maupun eksperimental. Sedangkan dari aspek *burnernya*, untuk mencapai kestabilan nyala dilakukan penambahan peralatan *burner* seperti benda penghalang (*bluff-body*), penstabil nyala berupa *ring*, *flame holder* maupun pembangkit panas seperti *ignitors* dan *pilot flame* [13-19].

Benda penghalang penstabil nyala atau *bluff body* banyak dipergunakan pada sistem pembakaran untuk propulsi maupun industri. Benda penghalang merupakan alat bantu pembakaran pada *boiler* maupun sistem pembangkit uap serta pada sistem ramjet dan turbojet [14]. Selain itu benda penghalang juga dipergunakan pada kajian dasar dari karakteristik nyala api turbulen serta studi kasus pada simulasi aliran dan telah ditetapkan sebagai salah satu subjek penelitian oleh kelompok peneliti pada *International Workshop on Premixed Flames* [20].

Khusus benda penghalang berbentuk *ring* telah diteliti pengaruhnya terhadap kestabilan nyala. Penelitian tentang *ring* penstabil nyala menemukan bahwa selain meningkatkan kestabilan nyala juga menurunkan kadar emisi NOx [21]. Namun pada penelitian tersebut *ring* dipasang tepat di keluaran *burner* sehingga nyala tetap berpotensi mengganggu ketahanan *burner*. Nyala api yang terletak tepat di ujung *burner* akan menyebabkan adanya kelelahan akibat pemanasan secara langsung karena ujung *burner* menjadi lebih cepat panas dan dapat menyebabkan erosi atau pengotoran atau *fouling*, pada lubang ujung *burner*. Penggantian nosel disamping menghambat kelangsungan operasi juga membutuhkan dana yang besar. Salah satu alternatif untuk mengatasi hal tersebut adalah pengalihan nyala ke jarak tertentu dari ujung nosel yakni nyala terangkat atau *lifted flame*. Nyala terangkat timbul akibat peristiwa *lift-off*. Namun nyala terangkat memiliki kendala ketidakstabilan yang tinggi [22].

Dengan memasang *ring* pada jarak tertentu nyala dapat berpindah ke *ring* dan menyala stabil di *ring* tersebut. Fenomena ini berbeda dengan *lift-off* dan disebut dengan fenomena nyala api *lift-up* atau *flame lift-up* [23-31]. Fenomena nyala api *lift-up* yang merupakan penelitian dasar ditemukan pada pembakaran *premix* menggunakan *burner* Bunsen serta belum tercatat pada pangkalan data hasil penelitian pada *International Workshop on Premixed Flames*. Nyala pembakaran gas dari *burner* Bunsen dihalangi oleh sebuah *ring* yang dipasang pada ketinggian tertentu dari ujung *burner*. Pada kecepatan aliran udara dan bahan bakar tertentu akan terjadi fenomena *flame lift-up* yakni nyala akan melompat menjauhi ujung *burner* dan menyala stabil di *ring* tidak lagi di mulut *burner* seperti pada Gambar 1.1 [32].



Gambar 1.1. Nyala Api Sebelum dan Setelah *Lift-up*

Sepintas fenomena ini mirip fenomena *lift-off* namun dengan jarak nyala yang lebih jauh dari mulut *burner* dan pada rentang rasio campuran bahan bakar dan udara yang lebih tinggi. Penelitian mengenai fenomena nyala api *lift-up* telah dilakukan secara eksperimental dari aspek diameter dalam *ring*, ketebalan *ring*, sudut *ring*, posisi *ring* dan material *ring*. Namun kajian eksperimental yang dilakukan masih terfokus pada masing-masing parameter yang diteliti serta belum dapat mengungkapkan secara jelas mekanisme terjadinya *lift-up*.

1.2 Masalah Penelitian

Sebagai fenomena yang belum tereksplorasi secara lengkap apabila fenomena ini akan diterapkan pada perancangan *burner* maka dibutuhkan pemahaman nyala api *lift-up* secara menyeluruh terutama tentang faktor-faktor yang mempengaruhi nyala yang sebelumnya berada di ujung *burner* kemudian terlihat melompat ke *ring*. Daerah antara ujung *burner* dan *ring* menjadi penting untuk dianalisis apakah merupakan aliran panas dari campuran udara dan bahan bakar ataukah sudah berupa nyala api yang tidak terlihat. Pada nyala terangkat atau *lifted flame* pembakaran non *premixed*, daerah ini merupakan daerah dingin dari aliran bahan bakar [33].

Dengan tujuan untuk mengatasi temperatur tinggi pada ujung nosel pada *burner* maka perubahan temperatur ujung *burner* antara sebelum dan setelah

flame lift-up serta temperatur maksimum dari nyala api juga harus diketahui untuk kelayakan penerapan fenomena ini pada rancangan *burner*. Sedangkan dari aspek ketahanan material *ring* maka temperatur *ring* juga perlu diketahui.

Nyala terangkat telah diketahui memiliki ketidakstabilan yang tinggi. Selain itu fenomena *flame lift-up* terjadi pada kondisi fraksi massa bahan bakar yang rendah. Fenomena *flame lift-up* juga merupakan nyala yang terangkat dari ujung *burner* namun dengan *ring* sebagai penahannya. Penggunaan *ring* baik posisi *ring* dari ujung *burner* maupun jenis material diteliti pengaruhnya terhadap kestabilan nyalanya.

Pemahaman tentang panjang nyala api setelah *lift-up* juga diperlukan jika fenomena ini akan diterapkan pada *burner* untuk penyesuaian penggunaan *burner* dengan ukuran ruang bakar. Seberapa besar pengaruh diameter dalam *ring*, posisi *ring* dan temperatur *ring* dikaji korelasinya terhadap panjang nyala yang menurut Nils A. Rokke [34] dipengaruhi oleh fraksi massa bahan bakar dan bilangan Froude. Kajian tentang permasalahan-permasalahan tersebut dilakukan tidak hanya secara ekperimental dan simulasi namun perlu dilengkapi dengan analisis teoritisnya.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan umum dari penelitian ini berfokus pada kajian fenomena *flame lift-up* pada pembakaran gas propana. Tujuan khususnya adalah:

1. Memaparkan fenomena *flame lift-up* secara deskriptif berdasarkan hasil eksperimen dan simulasi berbasis *Computational Fluid Dynamic (CFD)* serta meneliti secara teoritis faktor-faktor yang menyebabkan melompatnya nyala api dari ujung *burner* ke *ring*
2. Menentukan daerah kestabilan nyala api setelah *lift-up* berdasarkan diagram Fuidge serta melakukan kajian untuk menentukan kriteria *blow off* dan *local extinction* pada fenomena *flame lift-up*.
3. Menganalisis parameter yang mempengaruhi panjang nyala setelah *lift-up* dan menentukan korelasi panjang nyala api setelah *lift-up* berdasarkan korelasi panjang nyala api premix dari Rokke [34] serta melakukan kajian

teoritis untuk memperoleh persamaan matematis panjang nyala api setelah *lift-up*.

1.4 Batasan Penelitian

Kajian teoritis mengenai penyebab melompatnya nyala dari ujung *burner* ke *ring* dilakukan dengan pendekatan teori Spalding untuk nyala dengan terjadinya kehilangan kalor [35]. Laju kehilangan kalor diperhitungkan sesaat setelah *lift-up* dengan pendekatan nyala pada *burner* Bunsen berbentuk kerucut dan kondisi aliran campuran udara dan propana yang tunak. Hal ini dicapai dengan menjaga tekanan pada tabung propana adalah tetap serta pencatatan pengukuran laju aliran udara dan propana dilakukan pada posisi katup bukaan yang tetap.

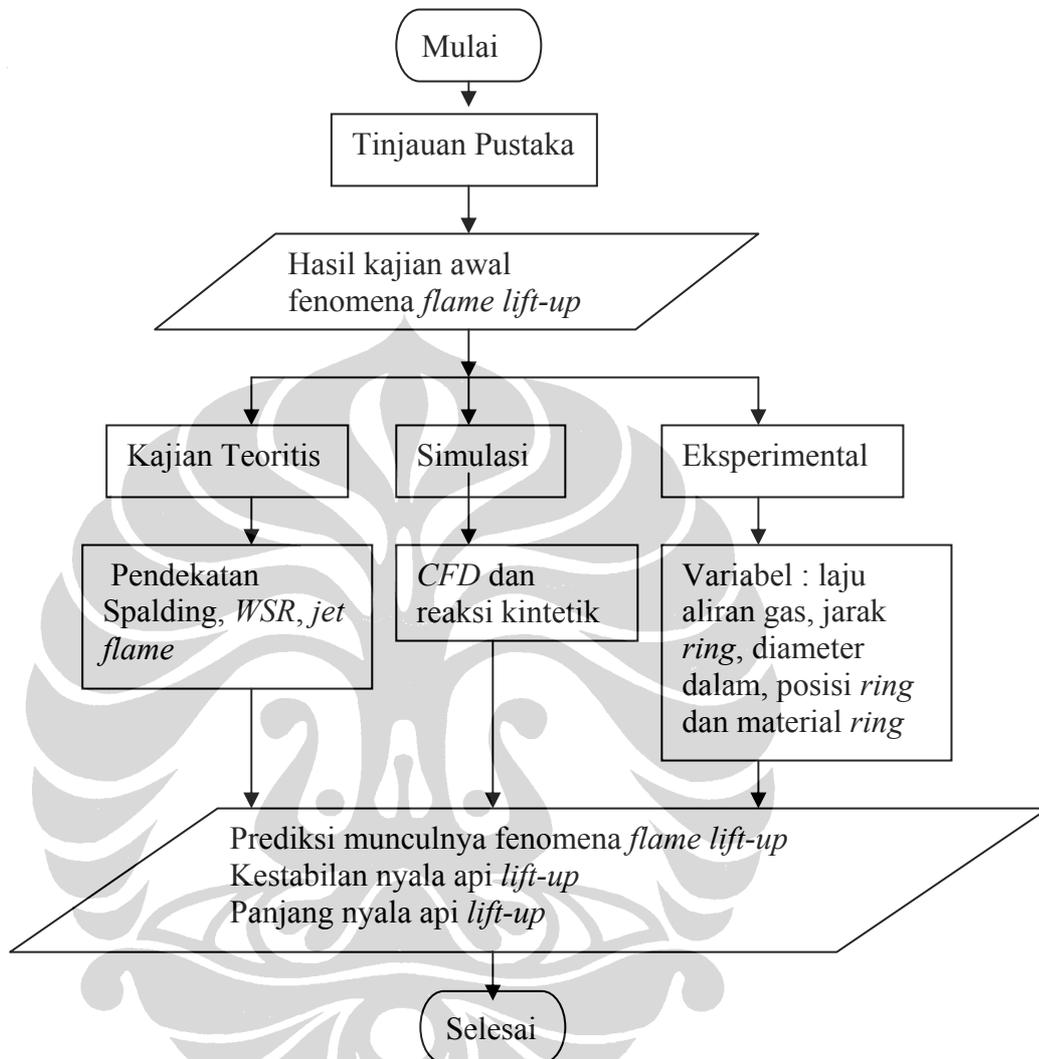
Kerugian energi aliran udara dan propana dari posisi pengukuran ke ujung *burner* diabaikan dan diasumsikan kecepatan campuran udara dan propana adalah tetap. Data kecepatan campuran udara dan propana yang dipergunakan sebagai data masukan saat simulasi dengan *CFD* adalah data kecepatan berdasarkan hasil pengukuran tersebut. Hal ini dijaga pada eksperimen dengan menggunakan selang yang bersih dan tidak terlalu panjang serta posisi selang yang horisontal agar kerugian tekanannya rendah.

Persamaan reaksi kinetik yang digunakan sebagai masukan pada simulasi *CFD* dan pada kajian teoritis panjang nyala setelah *lift-up* adalah reaksi kinetik satu langkah. Sedangkan untuk penentuan *residence time* menggunakan perangkat lunak berbasis reaksi kinetik dipergunakan San Diego Mechanism [36]. Kajian teoritis *blow off* dilakukan berdasarkan pendekatan model *Well Stirred Reactor (WSR)* yang dapat diterapkan pada daerah setelah *bluff body* atau pada daerah resirkulasi [14].

1.5 Metode Penelitian

Penelitian fenomena *flame lift-up* dilaksanakan secara teoritis dan eksperimental. Eksperimen dilakukan di Laboratorium Termodinamika *Flame Combustion Research Group*, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang didahului dengan kajian pustaka tentang berbagai jenis fenomena pembakaran. Sebelum dipergunakan, gas propana diuji komposisi

serta sifat-sifatnya seperti nilai kalor, viskositas dan massa jenisnya. Diagram alir langkah penelitian keseluruhan dari disertasi ini digambarkan sesuai Gambar 1.2.



Gambar 1.2. Diagram Alir Penelitian Fenomena *Flame lift-up*

Kajian teoritis dilakukan untuk menentukan faktor yang mempengaruhi terjadinya fenomena *flame lift-up*, korelasi *blow off* nyala api *lift-up* dan panjang nyala api *lift-up*. Simulasi pembakaran menggunakan perangkat lunak berbasis CFD dilakukan untuk mendukung kajian teoritis dalam menentukan dinamika medan aliran yang tidak diukur secara eksperimental serta distribusi temperatur untuk dibandingkan dengan hasil pengukuran. Sedangkan simulasi menggunakan perangkat lunak reaksi kinetik adalah untuk menentukan *residence time* pada penentuan korelasi *blow off*. Eksperimental dilakukan dengan pengukuran laju

aliran udara dan laju aliran bahan bakar, pengukuran temperatur ujung *burner* sebelum dan setelah *lift-up* serta pengukuran temperatur *ring* menggunakan termokopel dan *Infra Red Thermograph*. Sedangkan pengukuran temperatur maksimum dari nyala dilakukan dengan *Thermograph Infra View*. Hasil eksperimen ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Beberapa parameter yang sama dibandingkan hasil eksperimental dan hasil teoritisnya atau hasil simulasinya.

Kestabilan nyala diteliti dengan mengacu pada diagram Fuidge. Untuk itu dibutuhkan perhitungan *AFR* dan *Burning load*. Panjang nyala diukur secara visual, dibandingkan dengan hasil pemotretan serta hasil analisis citra menggunakan perangkat lunak pengolah citra. Dari berbagai faktor yang mempengaruhi tinggi nyala diturunkan suatu persamaan empiris mengacu pada persamaan tinggi nyala dari Nils A. Rokke [34] dengan analisa regresi linier variabel jamak yakni dengan menambahkan pengaruh diameter *ring* dan temperatur *ring* dan temperatur ujung *burner*. Langkah rinci dari metode penelitian ditampilkan pada Bab 3.

1.6. Sistematika Penulisan

Disertasi ini tersusun atas 7 bab. Bab 1 memaparkan pendahuluan yang memuat latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan. Bab 2 memuat tinjauan pustaka secara umum yang berkaitan dengan fenomena pembakaran yang fundamental serta hasil-hasil riset terkini di bidang pembakaran yang berhubungan dengan fenomena *flame lift-up*. Sedangkan Bab 3 menjelaskan metode penelitian meliputi peralatan dan langkah-langkah eksperimental, simulasi dan analisis teoritis. Adapun isi disertasi dijabarkan dalam 3 bab yakni Bab 4 tentang keseluruhan hasil eksperimental dan analisis teoritis faktor-faktor penyebab melompatnya nyala dari ujung *burner* ke *ring*. Sedangkan Bab 5 membahas tentang kestabilan nyala *flame lift-up* dan kajian teoritis *blow off* nyala api *lift-up* serta Bab 6 tentang korelasi dan kajian teoritis panjang nyala setelah *lift-up*. Bab 7 merupakan bab penutup yang memuat kesimpulan dari Bab 4 sampai dengan Bab 6.