

**KARAKTERISTIK PEMBAKARAN DROPLET  
CAMPURAN BAHAN BAKAR BENSIN-ETANOL**

**TESIS**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK MESIN  
MINAT KONVERSI ENERGI**

**Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Magister Teknik**



**ARWIN  
NIM. 176060200111015**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2019**



**KARAKTERISTIK PEMBAKARAN DROPLET  
CAMPURAN BAHAN BAKAR BENSIN-ETANOL**

**TESIS**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK MESIN  
MINAT KONVERSI ENERGI**

**Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Magister Teknik**



**ARWIN  
NIM. 176060200111015**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2019**



# TESIS

## KARAKTERISTIK PEMBAKARAN *DROPLET* CAMPURAN BAHAN BAKAR BENSIN-ETANOL

Oleh:

ARWIN  
NIM. 176060200111015

Telah dipertahankan didepan penguji  
Pada tanggal 16 Juli 2019  
Dinyatakan telah memenuhi syarat  
untuk memperoleh gelar Magister Teknik Mesin

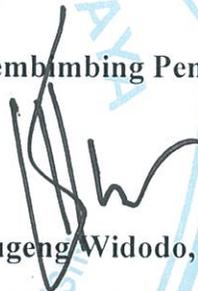
**Komisi Pembimbing,**

**Pembimbing Utama**



**Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., M.T.**

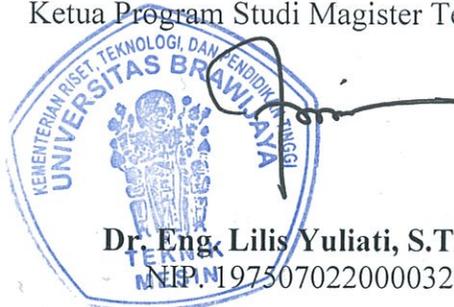
**Pembimbing Pendamping**



**Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D.**

Malang, 18 JUL 2019

Universitas Brawijaya  
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin  
Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin



**Dr. Eng. Lilis Yuliati, S.T., M.T.**  
NIP. 197507022000032001

## PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Tesis ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Tesis dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 16 Juli 2019

Mahasiswa,



Nama : Arwin

NIM : 176060200111015



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM MAGISTER**



## **SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI**

Nomor : 944/UN10.F07.12.21/PP/2019

Sertifikat ini diberikan kepada :

**ARWIN**

Dengan Judul Tesis :

**KARAKTERISTIK PEMBAKARAN DROPLET CAMPURAN BAHAN BAKAR BENSIN-ETANOL**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 5\%$ , dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **18 Juli 2019**



Ketua Jurusan Teknik Mesin

**Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D.**  
NIP. 196705181994121001

Ketua Program Studi S2 Teknik Mesin

**Dr. Eng. Lilis Yulianti, ST., MT.**  
NIP. 19750702 200003 2 001

## IDENTITAS TIM PENGUJI

### JUDUL TESIS :

KARAKTERISTIK PEMBAKARAN *DROPLET* CAMPURAN BAHAN BAKAR  
BENSIN-ETANOL

Nama Mahasiswa : Arwin

NIM : 176060200111015

Program Studi : Teknik Mesin

Minat : Konversi Energi

### KOMISI PEMBIMBING:

Ketua : Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT.

Anggota : Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D

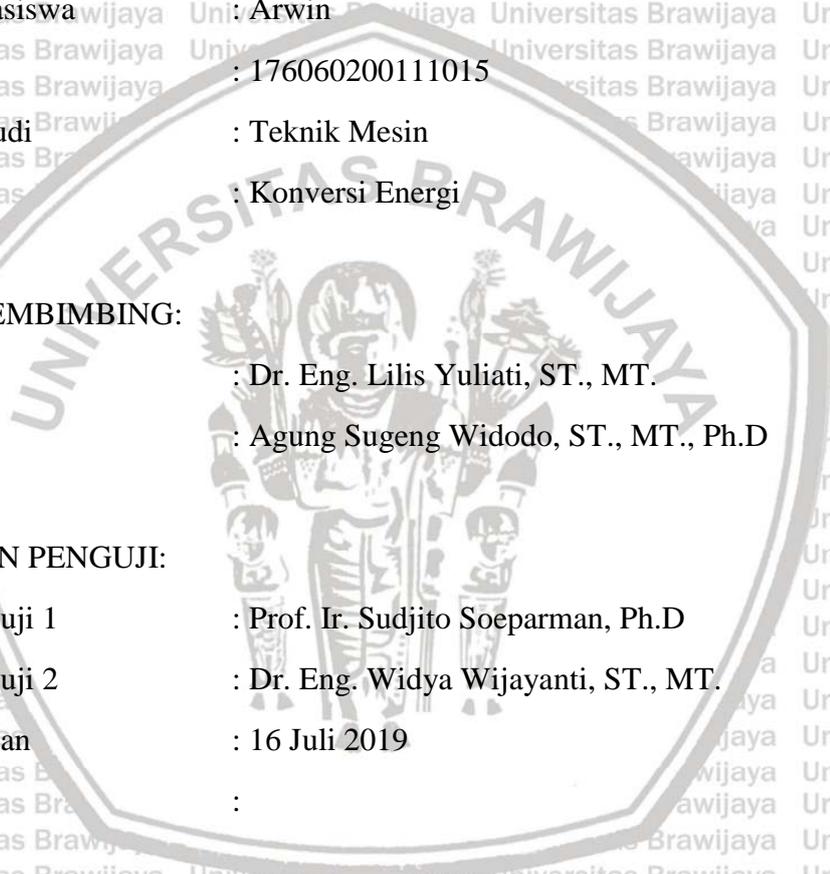
### TIM DOSEN PENGUJI:

Dosen Penguji 1 : Prof. Ir. Sudjito Soeparman, Ph.D

Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.

Tanggal Ujian : 16 Juli 2019

SK Penguji :





**KARYA ILMIAH INI KUTUJUKAN KEPADA  
AYAHANDA DAN ALMARHUMAH IBUNDA TERCINTA,  
ISTRI DAN ANAK TERSAYANG YANG SELALU MENDUKUNGKU  
DAN TEMAN TEMAN YANG SELALU MEMBANTUKU**

## RIWAYAT HIDUP

Arwin, lahir di Toli-toli, 07 Januari 1990, anak ke empat dari 4 bersaudara dari ayah Kaddulu dan ibu Almarhumah Junaeda, SD sampai SMA di Kabupaten Soppeng Sulawesi Selatan lulus SMA pada tahun 2008, lulus Sarjana Pendidikan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar pada tahun 2012, mengikuti Program Pendidikan Calon Pendidik Akademi Komunitas (PPCAK) lulus pada tahun 2014. Pengalaman kerja sebagai instruktur Program Studi di Luar Domisili (PDD) Kampus Politeknik Negeri Samarinda dari tahun 2015-2016. Pada tahun 2017, melanjutkan pendidikan Pascasarjana di Jurusan Teknik Mesin minat Konversi Energi Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.



## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan tesis ini didukung dan dibantu oleh berbagai pihak sehingga dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya sekaligus dosen pembimbing I dan Bapak Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D selaku dosen pembimbing II yang telah mendorong, membimbing, dan memberikan arahan selama proses penyelesaian tesis ini.
2. Bapak Prof. Ir. Sudjito Soeparman, Ph.D selaku penguji I dan Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT., selaku penguji II yang telah memberikan saran dan masukan-masukan selama proses penyelesaian tesis ini.
3. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak ilmu dan masukan-masukan selama proses perkuliahan.
5. Seluruh staff dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah memberikan pelayanan terbaik selama proses perkuliahan.
6. Kedua orang tua, istri dan anak saya, yang selalu memberikan doa, motivasi dan dukungan untuk menyelesaikan tesis ini.
7. Seluruh teman-teman S2 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya angkatan 2017 atas semangat, doa, dukungan, saran dan bantuan selama proses penelitian dan penulisan tesis ini.

Tidak lupa juga penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang turut memberikan dukungan semangat dan bantuannya. Hanya doa yang dipanjatkan agar semua dukungan dan bantuan dibalaskan kepada masing-masing oleh Allah SWT.

## RINGKASAN

Arwin, Program Magister Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2019, Karakteristik Pembakaran *Droplet* Campuran Bahan Bakar Bensin-Etanol, Dosen Pembimbing: Lilis Yulianti dan Agung Sugeng Widodo.

Saat ini cadangan bahan bakar yang berasal dari minyak bumi semakin menipis, sehingga salah satu cara untuk melakukan penghematan dengan beralih ke sumber energi yang dapat diperbaharui dan bersifat ramah lingkungan. Etanol merupakan salah satu energi alternatif yang dapat digunakan sebagai campuran maupun sebagai pengganti bahan bakar bensin. Pada pembakaran yang terjadi di dalam mesin bensin dengan sistem EFI (*elektronik fuel injection*) terdapat suatu proses dimana pemasukan bahan bakar dengan cara disemprotkan langsung ke ruang bakar untuk bercampur dengan udara lalu dikompresikan kemudian dibakar. Bahan bakar yang disemprotkan tersebut berupa *spray* yang merupakan kumpulan *droplet*. Karena itu karakteristik pembakaran *spray* nya dapat diperiksa lebih lanjut melalui perilaku pembakaran *droplet*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki karakteristik pembakaran *droplet* campuran bahan bakar bensin-etanol.

Karakteristik pembakaran yang diamati meliputi *ignition delay time*, lama nyala api, konstanta *burning rate*, tinggi api, temperatur api dan *microexplosion*. Pengujian dilakukan menggunakan campuran bahan bakar bensin-etanol dengan persentase etanol 0% (E0), 10% (E10), 20% (E20), 30% (E30) dan 100% (E100). Bahan bakar diteteskan pada ujung *thermocouple junction* dan dinyalakan menggunakan api dari pembakaran butana-udara pada *cylindrical burner*.

Hasil penelitian menunjukkan *ignition delay time* meningkat dengan meningkatnya persentase etanol, hal ini disebabkan karena tingginya panas laten penguapan dan temperatur *flash point*. Namun, temperatur *droplet* menurun dengan meningkatnya persentase etanol hal ini disebabkan karena laju pelepasan panas yang lebih rendah dari campuran bahan bakar, terkait dengan nilai kalor etanol yang lebih rendah dan konstanta *burning rate* bahan bakar yang tidak berbeda secara signifikan. Diameter *droplet* E100 (etanol murni) menurun menurut hukum  $d^2$  tetapi diameter *droplet* E0, E10, E20, dan E30 berubah secara drastis, menunjukkan ekspansi dan penyusutan. Pembakaran *droplet* bahan bakar E20 memiliki konstanta *burning rate* dan tinggi api tertinggi. Selain itu, pembakaran *droplet* bahan bakar E20 memiliki lama nyala api terendah. Fenomena *microexplosion* juga diidentifikasi hal ini terjadi karena perbedaan antara temperatur titik didih bensin dan etanol.

Kata kunci: Karakteristik pembakaran *droplet*, bensin, etanol,

## SUMMARY

**Arwin**, *Mechanical Engineering Magister Program, Department of mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, July 2019, The Droplet Combustion Characteristics of Gasoline-Ethanol Fuel Blends, Academic Supervisors: Lilis Yuliati and Agung Sugeng Widodo.*

Nowadays the fuel reserves from petroleum are running low, so one way to make savings is by switching to renewable and environmentally friendly energy sources. Ethanol is an alternative energy that can be used as a mixture or as a substitute for gasoline. In combustion that occurs in a gasoline engine with an EFI (electronic fuel injection) system, there is a process where the fuel input is sprayed directly into the combustion chamber to mix with the air and then compressed and then burned. The sprayed fuel is a spray which is a collection of droplets. Because of that the characteristics of spray combustion can be further examined through the droplet combustion behavior. The objective of this research is to investigate the droplet combustion characteristics of gasoline-ethanol fuel blends.

The combustion characteristics included ignition delay time, burning lifetime, burning rate constant, flame height, flame temperature, and microexplosion. Testing was conducted using fuel blended with ethanol percentage of 0%(E0), 10%(E10), 20% (E20), 30% (E30) and 100% (E100). The fuel was dripped on the tip of thermocouple junction and ignited using a torch of butane-air mixture on a cylindrical burner.

The results showed that the ignition delay time increase with the increasing of ethanol percentage due to its high latent heat of vaporation and flash point temperature. However, flame temperature decrease with the increasing of ethanol percentage due to lower heat release rate of the mixture, related to lower heating value of ethanol and the burning rate constant of the fuels were not different significantly. The droplet diameter of the E100 (pure ethanol) decrease according to the  $d^2$ -law but the droplet diameters of the E0, E10, E20, and E30 changed drastically, exhibiting expansion and shrinkage. The Combustion of E20 fuel droplet has the highest burning rate constant and flame height. In addition, the combustion of E20 fuel droplet has the lowest burning lifetime. Microexplosion phenomenon also identified due to the difference between the boiling point temperature gasoline and ethanol.

**Keywords:** *Droplet combustion characteristics, gasoline, ethanol*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya yang telah diberikan sehingga atas Izin-Nya penulis akhirnya dapat menyelesaikan penulisan tesis ini tepat pada waktunya dengan judul “**Karakteristik Pembakaran Droplet Campuran Bahan Bakar Bensin-Etanol**”. Tesis ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik di Program Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa dengan keterbatasan pengalaman, pengetahuan maupun pustaka yang ditinjau, tesis ini masih jauh dari kata sempurna dan perlu pengembangan lebih jauh agar betul-betul dapat bermanfaat. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi penyempurnaan dimasa yang akan datang.

Akhir kata, tak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tesis ini, terutama kepada kedua dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis. Mohon maaf apabila ada kekurangan dan kekhilafan dalam tesis ini. Semoga tesis ini dapat diterima dan memberikan manfaat bagi kita semua.

Malang, 18 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

|   |      |
|---|------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....                                    | i    |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....                                | iii  |
| <b>PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS</b> .....                    | v    |
| <b>SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI</b> .....                        | vii  |
| <b>IDENTITAS TIM PENGUJI</b> .....                            | ix   |
| <b>LEMBAR PERUNTUKAN</b> .....                                | xi   |
| <b>RIWAYAT HIDUP</b> .....                                    | xii  |
| <b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....                              | xiii |
| <b>RINGKASAN</b> .....  | xiv  |
| <b>SUMMARY</b> .....  | xv   |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                                   | xvi  |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                                       | xvii |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                                     | xix  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                                    | xx   |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....                                  | xxii |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>                                      |      |
| 1.1 Latar Belakang.....                                       | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                                      | 3    |
| 1.3 Batasan Masalah.....                                      | 3    |
| 1.4 Tujuan Penelitian.....                                    | 4    |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....                                   | 4    |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>                                |      |
| 2.1 Penelitian Sebelumnya.....                                | 5    |
| 2.2 Bensin.....   | 9    |
| 2.3 Etanol.....   | 11   |
| 2.4 Kelarutan Bensin-Etanol.....                              | 13   |
| 2.5 Pembakaran.....   | 16   |
| 2.5.1 Pembakaran Bahan Bakar Cair.....                        | 18   |
| 2.5.2 Pembakaran <i>Droplet</i> .....                         | 19   |
| 2.5.3 $D^2$ Law Penguapan dan Pembakaran <i>Droplet</i> ..... | 21   |
| 2.5.4 <i>Ignition Delay</i> .....                             | 22   |
| 2.5.5 <i>Burning Rate</i> .....                               | 22   |
| 2.5.6 <i>Microexplosion</i> .....                             | 23   |
| <b>BAB III KERANGKA KONSEP</b>                                |      |
| 3.1 Kerangka Pikir.....                                       | 25   |
| 3.2 Hipotesis.....  | 28   |

**BAB IV METODE PENELITIAN**

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian..... 29

4.2 Variabel Penelitian..... 29

4.3 Alat dan Bahan Penelitian..... 30

4.4 Skema Instalasi Penelitian ..... 34

4.5 Prosedur Pengambilan Data Penelitian..... 35

4.6 Diagram Alir Penelitian..... 36

4.7 Pengambilan Data Penelitian ..... 37

**BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN**

5.1 Data Hasil Penelitian ..... 39

5.1.1 Pengukuran Diameter *Droplet*..... 39

5.1.2 Pengukuran *Ignition Delay Time* dan Lama Nyala Api..... 40

5.1.3 Pengukuran Tinggi Api..... 41

5.1.5 Perhitungan Konstanta *Burning Rate* ..... 42

5.2 Pembahasan ..... 43

5.2.1 Pengaruh Persentase Campuran Bensin–Etanol Terhadap *Ignition Delay Time* ..... 43

5.2.2 Pengaruh Persentase Campuran Bensin – Etanol Terhadap Lama Nyala Api..... 44

5.2.3 Pengaruh Persentase Campuran Bensin–Etanol Terhadap Konstanta *Burning Rate* ..... 46

5.2.4 Pengaruh Persentase Campuran Bensin–Etanol Terhadap Perubahan Diameter *Droplet* ..... 47

5.2.5 Pengaruh Persentase Campuran Bensin–Etanol Terhadap Temperatur Api..... 48

5.2.6 Pengaruh Persentase Campuran Bensin–Etanol Terhadap Tinggi Api..... 49

5.2.7 Pengaruh Persentase Campuran Bensin–Etanol Terhadap Jumlah *Microexplosion* ..... 50

**BAB VI PENUTUP**

6.1 Kesimpulan ..... 53

6.2 Saran ..... 53

**DAFTAR PUSTAKA** ..... 55

**LAMPIRAN** ..... 59



DAFTAR TABEL

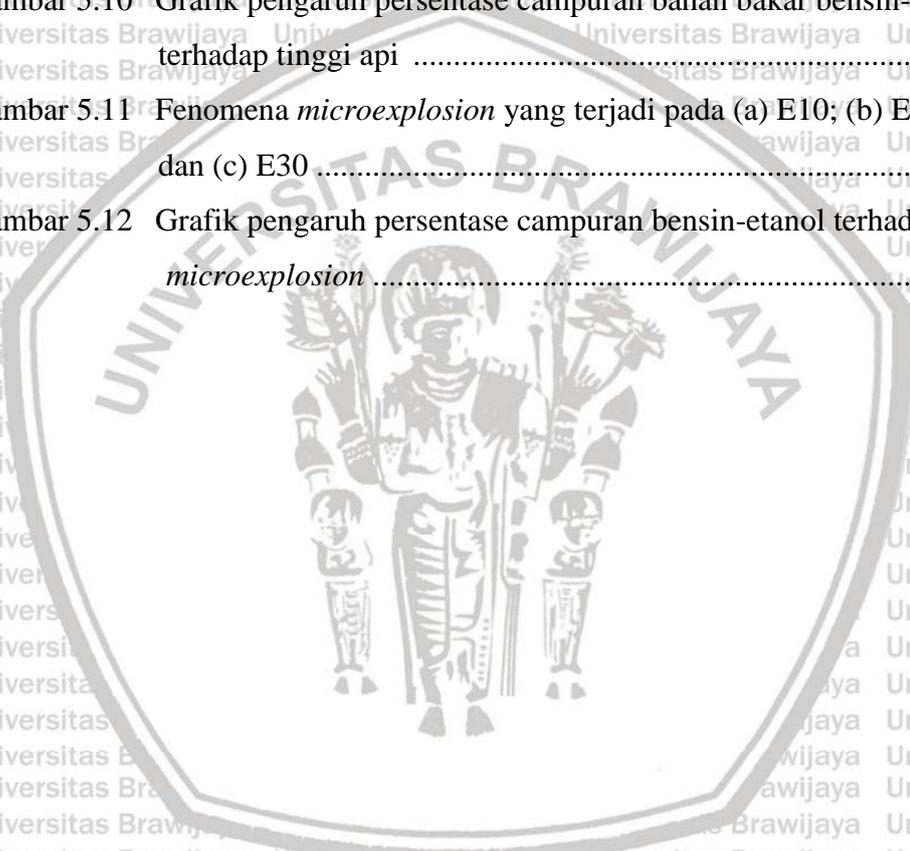
| No.       | Judul  | Halaman |
|-----------|--|---------|
| Tabel 2.1 | Hasil uji komposisi bahan bakar bensin dengan GC-MS .....  | 10      |
| Tabel 2.2 | Produk bensin yang ada di pasaran Indonesia .....  | 11      |
| Tabel 2.3 | Sifat Fisik dan Kimia Bahan Bakar Etanol dan Bensin .....  | 12      |
| Tabel 2.4 | Kelarutan pelarut .....  | 15      |
| Tabel 5.1 | Data hasil pengujian pembakaran <i>droplet</i> pada berbagai persentase campuran bahan bakar ..... | 42      |



DAFTAR GAMBAR

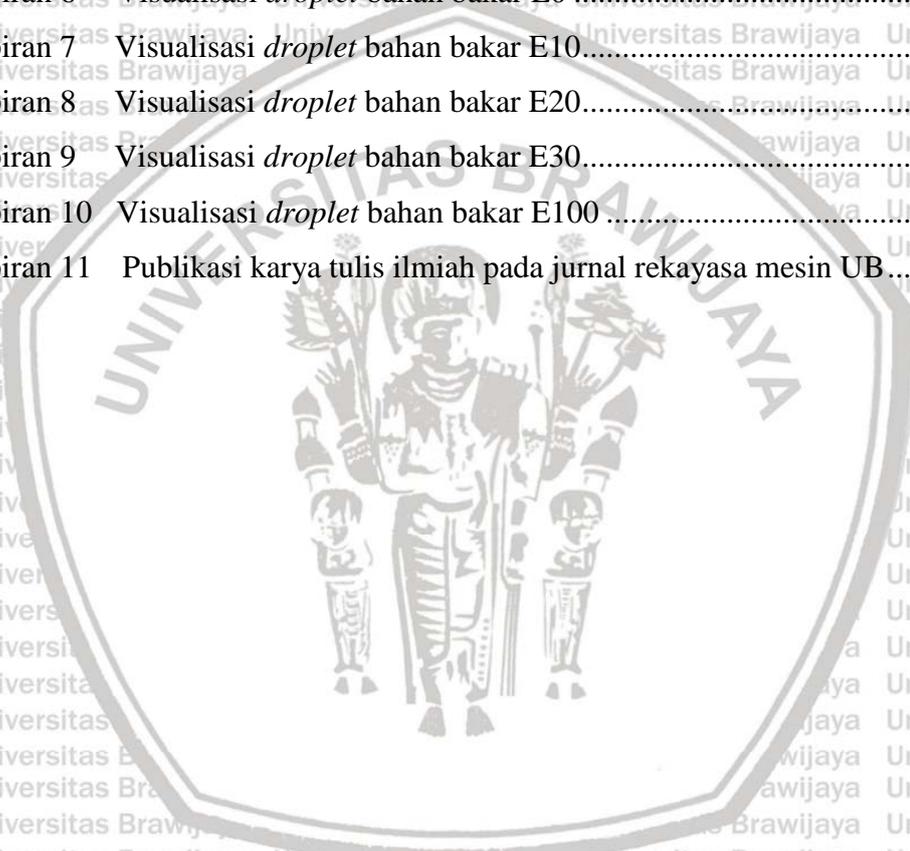
| No.         | Judul  | Halaman |
|-------------|--|---------|
| Gambar 2.1  | Struktur semprotan bensin (a), dan etanol (b) pada tekanan injeksi 0,25 MPa.....               | 6       |
| Gambar 2.2  | Perilaku sebaran api dari <i>droplet</i> A ke <i>droplet</i> L.....                            | 7       |
| Gambar 2.3  | Fenomena pembakaran minyak tanah dicampur dengan berbagai rasio <i>bio-oil</i> kayu cedar..... | 8       |
| Gambar 2.4  | Senyawa penyusun bensin untuk menentukan RON.....  | 9       |
| Gambar 2.5  | Penggambaran sederhana 3 tahap proses yang terlibat dalam pelarutan <i>solute</i> .....        | 14      |
| Gambar 2.6  | Ilustrasi proses pembakaran.....   | 16      |
| Gambar 2.7  | Cara reaktan terbakar, (a) pembakaran <i>premixed</i> , (b) pembakaran difusi.....             | 17      |
| Gambar 2.8  | Skema pembakaran <i>droplet</i> model <i>sperichal</i> .....                                   | 19      |
| Gambar 2.9  | Model nyala api <i>droplet</i> (a) <i>non-sperichal</i> (b) <i>sperichal</i> .....             | 20      |
| Gambar 2.10 | Skema penguapan <i>droplet</i> model <i>sperichal</i> .....                                    | 20      |
| Gambar 2.11 | Ilustrasi ledakan <i>microexplosion</i> menghasilkan atomisasi tingkat dua                     | 23      |
| Gambar 3.1  | Diagram kerangka konsep.....   | 27      |
| Gambar 4.1  | Alat pembuat <i>droplet</i> .....  | 30      |
| Gambar 4.2  | Termokopel.....  | 30      |
| Gambar 4.3  | Data <i>logger</i> .....   | 31      |
| Gambar 4.4  | <i>Flowmeter</i> .....   | 32      |
| Gambar 4.5  | Kompresor udara.....   | 32      |
| Gambar 4.6  | Kamera Nikon D 3400.....   | 33      |
| Gambar 4.7  | Skema instalasi penelitian.....  | 34      |
| Gambar 4.8  | Diagram alir penelitian.....   | 36      |
| Gambar 5.1  | Mengukur diameter <i>droplet</i> .....   | 40      |
| Gambar 5.2  | Pengukuran <i>ignition delay time</i> dan lama nyala api.....                                  | 40      |
| Gambar 5.3  | Pengukuran tinggi api.....   | 41      |
| Gambar 5.4  | Grafik pengaruh persentase campuran bensin - etanol terhadap <i>ignition delay time</i> .....  | 43      |
| Gambar 5.5  | Grafik pengaruh persentase campuran bensin- etanol terhadap lama                               |         |

|   |    |
|---|----|
| nyala api.....  | 44 |
| Gambar 5.6 Visualisasi api pembakaran <i>droplet</i> campuran bahan bakar bensin-<br>etanol: (a) E0; (b) E10; (c) E20; (d) E30; (e) E100..... | 45 |
| Gambar 5.7 Grafik pengaruh persentase campuran bensin - etanol terhadap<br>konstanta <i>burning rate</i> .....                                | 46 |
| Gambar 5.8 Grafik pengaruh persentase campuran bahan bakar bensin-etanol<br>terhadap perubahan diameter <i>droplet</i> .....                  | 47 |
| Gambar 5.9 Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap<br>temperatur api.....  | 48 |
| Gambar 5.10 Grafik pengaruh persentase campuran bahan bakar bensin-etanol<br>terhadap tinggi api .....  | 49 |
| Gambar 5.11 Fenomena <i>microexplosion</i> yang terjadi pada (a) E10; (b) E20;<br>dan (c) E30 .....   | 50 |
| Gambar 5.12 Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap jumlah<br><i>microexplosion</i> .....                                  | 51 |



DAFTAR LAMPIRAN

| No.         | Judul  | Halaman |
|-------------|--|---------|
| Lampiran 1  | Visualisasi api bahan bakar E0 .....                             | 61      |
| Lampiran 2  | Visualisasi api bahan bakar E10 .....                            | 63      |
| Lampiran 3  | Visualisasi api bahan bakar E20 .....                            | 65      |
| Lampiran 4  | Visualisasi api bahan bakar E30 .....                            | 67      |
| Lampiran 5  | Visualisasi api bahan bakar E100 .....                           | 69      |
| Lampiran 6  | Visualisasi <i>droplet</i> bahan bakar E0 .....                  | 71      |
| Lampiran 7  | Visualisasi <i>droplet</i> bahan bakar E10 .....                 | 72      |
| Lampiran 8  | Visualisasi <i>droplet</i> bahan bakar E20 .....                 | 73      |
| Lampiran 9  | Visualisasi <i>droplet</i> bahan bakar E30 .....                 | 74      |
| Lampiran 10 | Visualisasi <i>droplet</i> bahan bakar E100 .....                | 75      |
| Lampiran 11 | Publikasi karya tulis ilmiah pada jurnal rekayasa mesin UB ..... | 77      |



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Hingga saat ini bahan bakar yang berasal dari minyak bumi merupakan bahan bakar yang paling sering dan paling luas digunakan oleh seluruh manusia. Berdasarkan data *U.S Energi Information Administration* (2019) menunjukkan konsumsi global minyak bumi mengalami kenaikan dari tahun ke tahun, seperti pada tahun 2017 dengan total konsumsi dunia 98,55 juta barel per hari meningkat menjadi 100 juta barel per hari pada tahun 2018. Peningkatan konsumsi bahan bakar minyak bumi semakin lama semakin meningkat seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, meningkatnya aktivitas serta bertambahnya jumlah penduduk. Hal ini menyebabkan cadangan minyak bumi yang semakin lama semakin menipis karena merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable*), sehingga salah satu jalan untuk melakukan penghematan penggunaan bahan bakar minyak bumi adalah beralih ke sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui (*renewable*).

Pada sektor industri otomotif kemajuan teknologi sudah memasuki tahap penggunaan bahan bakar alternatif, dan prinsip penginjeksian bahan bakar pada mesin bensin dengan sistem EFI (*Electronic Fuel Injection*), untuk menciptakan efisiensi penggunaan bahan bakar dan pembakaran yang lebih ramah lingkungan. Etanol adalah salah satu bahan bakar alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar bensin dan sebagai campuran bahan bakar bensin yang dapat diinjeksikan langsung ke dalam ruang bakar. Etanol yang sering juga disebut etil alkohol dengan rumus kimia  $C_2H_5OH$ , dapat dibuat dari proses pemasakan, fermentasi, distilasi dan dehidrasi beberapa jenis tanaman yang mengandung sukrosa seperti tebu, jagung, singkong, bit, dan buah-buahan atau tanaman lain yang kandungan karbohidratnya tinggi seperti jagung, beras dan sorgum. Bahkan dalam beberapa penelitian ternyata etanol juga dapat dibuat dari biomassa *lignoselulosa* seperti limbah hasil pertanian, perkebunan dan kehutanan (Limayem dan Ricke, 2012).

Pemakaian etanol pada mesin bensin perlu memperhatikan beberapa hal, diantaranya nilai kalori etanol yang lebih rendah dari bensin, nilai oktan yang lebih tinggi, kemurnian etanol, sifat etanol yang korosif, dan sifat *volatility* etanol. Berbagai penelitian tentang

campuran bahan bakar bensin-etanol pada mesin bensin sudah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya.

Raja *et al.* (2015) meneliti efek dari penggunaan campuran bensin etanol terhadap performa dan emisi gas buang mesin SI (*spark ignition*) 4 langkah selinder tunggal 150 cc dengan kandungan etanol bervariasi dari 5%-20%. Hasil Penelitian disimpulkan bahwa konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi volumetrik, dan faktor udara berlebih meningkat seiring peningkatan persentase etanol dalam campuran. Sebaliknya Emisi karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC) dan nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) menurun dengan peningkatan persentase etanol dalam campuran.

Huang *et al.* (2016) meneliti pengaruh pemanasan etanol terhadap emisi gas buang mesin bensin selinder tunggal dengan teknologi EDI (*Ethanol Direct Injection*)+GPI (*Gasoline Port Injection*). Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa pengurangan emisi CO dan HC menjadi lebih signifikan dengan peningkatan rasio etanol. Ketika suhu bahan bakar dengan rasio etanol 100% (hanya EDI) ditingkatkan sebesar 40°C, menurunkan emisi CO dan HC masing-masing sebesar 43% dan 51% dibandingkan dengan model konvensional (*non-heating ethanol*). Pemanasan bahan bakar membantu meningkatkan penguapan etanol dan efektif untuk mengatasi masalah tingkat penguapan etanol yang rendah di lingkungan mesin suhu rendah dan efek pendinginan berlebih pada kondisi rasio etanol tinggi.

Purwa (2018) melakukan penelitian pengaruh sudut pengapian CDI pada motor 6 langkah dengan bahan bakar etanol variasi sudut pengapian 24°, 26° dan 28° BTDC (*Before Top Dead Center*). Putaran *crank shaft* divariasikan dengan interval 600 rpm dari putaran 2400 rpm sampai 7200 rpm. Hasil penelitian disimpulkan bahwa pada sudut pengapian 28° BTDC menghasilkan torsi dan daya efektif yang lebih tinggi di bandingkan dengan sudut pengapian 26° dan 24° BTDC. Hal ini disebabkan karena penggunaan bahan bakar etanol yang mengakibatkan kecepatan pembakaran yang lebih lambat sehingga perlu memajukan sudut pengapian agar daya ledak campuran udara bahan bakar lebih besar.

Iodice *et al.* (2018) menyelidiki efek campuran etanol-bensin hingga 30% terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang mesin SI (*spark ignition*) pada kondisi operasi dingin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi pada kondisi dingin CO, HC dan NO<sub>x</sub> menurun secara signifikan dengan peningkatan kandungan etanol dalam campuran. Konsumsi bahan bakar meningkat dengan meningkatnya kadar etanol.

Dari berbagai penelitian yang terpapar di atas terlihat bahwa hanya mengamati efek campuran bensin-etanol terhadap kinerja mesin dan emisi gas buang kendaraan, namun

belum diamati bagaimana karakteristik pembakaran campuran bensin-etanol pada pembakaran *droplet* bahan bakar. Pengujian mengenai pembakaran *droplet* sangatlah penting dilakukan karena proses pembakaran yang terjadi di dalam mesin bensin dengan sistem EFI (*elektronik fuel injection*) terdapat suatu proses dimana pemasukan bahan bakar dengan cara disemprotkan langsung ke ruang bakar untuk bercampur dengan udara lalu dikompresikan kemudian dibakar. Bahan bakar yang disemprotkan tersebut berupa *spray* yang merupakan kumpulan *droplet*. Oleh karena itu, untuk menyelidiki lebih lanjut efek campuran bahan bakar bensin-etanol pada mesin bensin karakteristik pembakaran *spray* nya dapat diperiksa lebih lanjut melalui perilaku pembakaran *droplet*.

Rao *et al.* (2017) dalam penelitiannya mengamati karakteristik pembakaran *droplet* campuran bahan bakar etanol/Jet A-1 dilakukan pada kondisi suhu ruangan  $25 \pm 5^\circ\text{C}$ , 1 atm, dan RH  $\sim 75 \pm 5\%$ . Dari hasil penelitian di simpulkan bahwa pada persentase etanol rendah fenomena yang dominan terjadi adalah *puffing*, dan *abrupt explosion*, sementara fenomena *microexplosion* secara umum terjadi pada persentase etanol yang lebih tinggi. Baik *abrupt explosion* dan *microexplosion* menciptakan distorsi api skala besar yang mengelilingi *droplet* induk. *Droplet* sekunder yang dihasilkan dari *abrupt explosion* mengalami penguapan yang lebih cepat dibandingkan dengan *droplet* sekunder dari *microexplosion*.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka peneliti akan melakukan penelitian mengenai pengaruh persentase campuran bahan bakar bensin-etanol terhadap karakteristik pembakaran *droplet*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

Bagaimana pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap karakteristik pembakaran *droplet* yang meliputi, *ignition delay time*, lama nyala api, konstanta *burning rate*, tinggi api, temperatur api dan *microexplosion*.

## 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat dilakukan lebih fokus, teliti, terarah sesuai dengan tujuan, maka perlu untuk menentukan batasan-batasan masalah yaitu:

1. Campuran bahan bakar bensin-etanol diasumsikan campuran homogen.
2. Diameter *droplet* sebesar 1 mm dengan toleransi  $\pm 0,1$  mm.

3. Pengujian dilakukan pada temperatur ruangan  $28^{\circ}\text{C}$ - $30^{\circ}\text{C}$  dan pada kondisi ini properties udara dianggap tidak berubah.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah penelitian, maka tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik pembakaran *droplet* dari campuran bahan bakar bensin-etanol yang terjadi melalui pengamatan api di ruang uji bakar yang meliputi:

1. *Ignition delay time* dan lama nyala api dari pembakaran *droplet* untuk memperkirakan penyetulan sudut pengapian pada mesin bensin.
2. Konstanta *burning rate*, *microexplosion* dan temperatur api dari pembakaran *droplet* untuk memperkirakan kinerja dan emisi gas buang pada mesin bensin.
3. Tinggi api dari pembakaran *droplet* untuk memperkirakan rambatan api antara *droplet* bahan bakar.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan data-data ilmiah tentang karakteristik pembakaran *droplet* campuran bahan bakar bensin-etanol.
2. Memberikan informasi kepada masyarakat mengenai pemanfaatan etanol sebagai campuran bensin yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif dan dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.
3. Sebagai referensi untuk penelitian sejenis.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

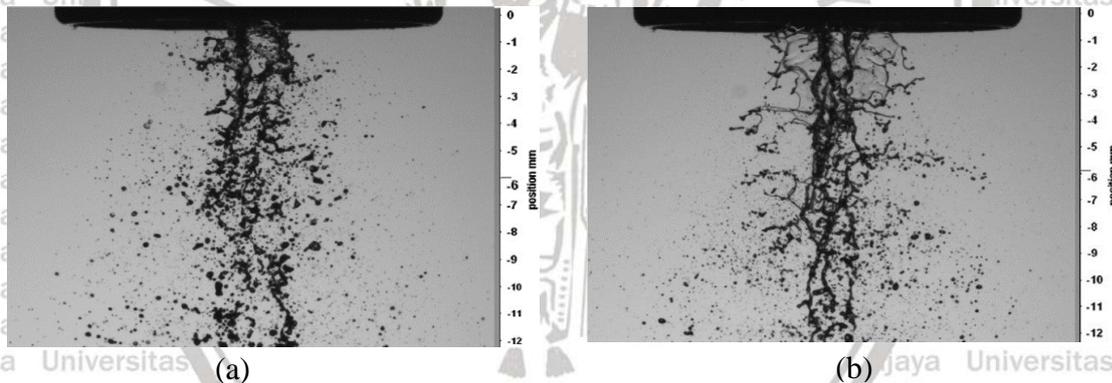
Iodece *et al.* (2016) meneliti emisi gas buang CO dan HC mesin SI (*spark ignition*) generasi terakhir pada penyalaan awal kondisi dingin. Gas *analyser* digunakan untuk pengukuran emisi gas buang tanpa merubah desain mesin. Bahan bakar yang digunakan terdiri atas E0 (bensin komersial dengan tambahan adiktif oksigen 8,1%) G0 (bensin tanpa timbal dan tanpa adiktif oksigen) G10 (campuran bensin-etanol dengan kadar etanol dalam campuran 10%) G20 (kadar etanol dalam campuran bensin 20%) dan G30 (kadar etanol dalam campuran bensin 30%). Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa bahan bakar bensin dengan campuran etanol 20% (G20) menghasilkan emisi gas buang dengan kandungan gas CO dan HC yang cukup rendah dibandingkan menggunakan bensin komersial. Hal ini disebabkan karena volatilitas campuran etanol yang lebih tinggi meningkatkan penguapan bahan bakar dan lebih banyak kandungan etanol dalam campuran memasok oksigen sehingga proses pembakaran yang lebih efisien. Di sisi lain bahan bakar G30 memiliki emisi CO dan HC yang paling tinggi, karena dengan semakin banyak etanol dalam campuran, nilai pemanasan berkurang sedangkan panas laten penguapan meningkat, sehingga menghasilkan suhu pembakaran dan kecepatan pembakaran yang lebih rendah yang mengarah ke proses pembakaran parsial.

Huang *et al.* (2016) meneliti pengaruh pemanasan etanol terhadap emisi gas buang mesin bensin selinder tunggal dengan teknologi EDI (*Ethanol Direct Injection*)+GPI (*Gasoline Port Injection*). Mesin yang diuji dioperasikan pada beban sedang pada kecepatan mesin 3500 rpm dan 4000 rpm. Rasio volume bahan bakar etanol dalam injeksi langsung bervariasi dari 0% (hanya GPI) hingga 100% (hanya EDI) dengan nilai lambda satu. Suhu bahan bakar etanol ditingkatkan dari 50°C (tanpa pemanasan EDI) menjadi 70°C dan 90°C. Efek pemanasan EDI pada kinerja mesin diselidiki pada waktu percikan busi 15° BTDC dan 19° BTDC (*Before Top Dead Center*). Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa pengurangan emisi CO dan HC menjadi lebih signifikan dengan peningkatan rasio etanol. Ketika suhu bahan bakar dengan rasio etanol 100% (hanya EDI) ditingkatkan sebesar 40°C, menurunkan emisi CO dan HC masing-masing sebesar 43% dan 51% pada waktu percikan busi 15° BTDC dan 15% dan 47% pada waktu percikan busi 19° BTDC dibandingkan dengan model

konvensional (*non-heating ethanol*). Pemanasan bahan bakar membantu meningkatkan penguapan etanol dan efektif untuk mengatasi masalah tingkat penguapan etanol yang rendah di lingkungan mesin suhu rendah dan efek pendinginan berlebih pada kondisi rasio etanol tinggi.

Pembakaran bahan bakar cair yang disemprotkan merupakan bentuk pembakaran yang rumit karena tetesan (*droplet*) bahan bakar dengan ukuran yang berbeda tersebar secara acak, dan banyak proses, seperti atomisasi bahan bakar cair, penguapan tetesan, reaksi kimia, terjadi secara bersamaan. Sehingga menjadi topik penelitian yang banyak dilakukan oleh para peneliti.

Anand *et al.* (2012) melakukan penelitian tentang struktur semprotan dan distribusi ukuran *droplet* campuran bahan bakar bensin-etanol yang diukur pada tekanan rendah, menggunakan injektor 4 lubang (*multi-hole port fuel injector/PFI*). Bahan bakar yang digunakan terdiri atas bensin, etanol dan campuran bensin-etanol dengan persentase etanol 10%, 20% dan 50% pengamatan dilakukan dengan pencitraan lampu latar laser dan teknik analisis gambar partikel /*droplet* (PDIA) pada dua tekanan injeksi yang berbeda (0,25 MPa dan 0,6 MPa).



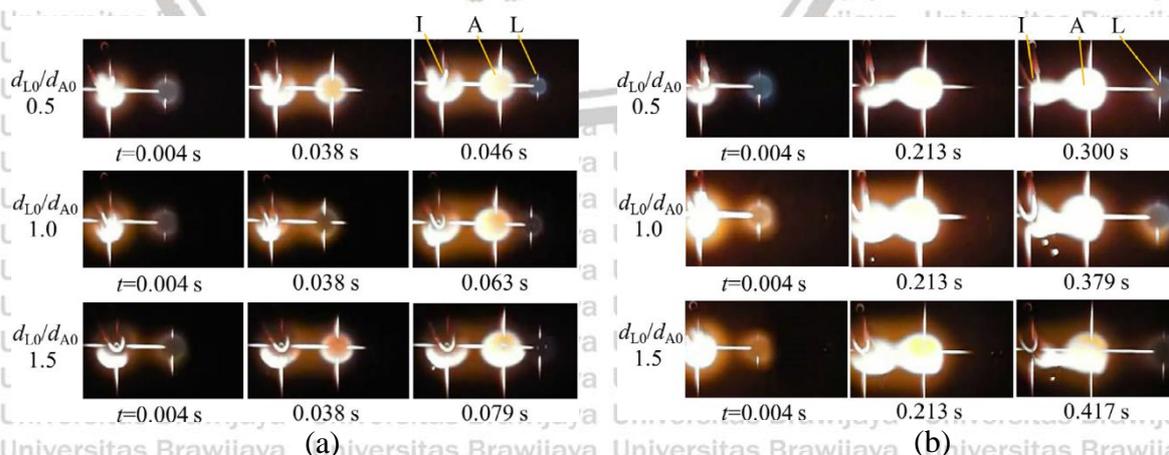
Gambar 2.1 Struktur semprotan bensin (a), dan etanol (b) pada tekanan injeksi 0,25 MPa. Sumber: Anand *et al.* (2012)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semprotan bensin dan etanol memiliki karakteristik yang serupa dalam hal perkembangan semprotan dan ukuran *droplet* meskipun perbedaan viskositasnya besar. Dipercaya bahwa desain injektor di mana empat aliran cairan muncul dari nosel hampir sejajar dengan sumbu, dan berinteraksi satu sama lain menghasilkan mode kompleks atomisasi yang serupa, sehingga menjadi alasan utama tidak cukup sensitif terhadap viskositas bahan bakar.

Chen *et al.* (2014) meneliti tentang karakteristik penguapan dan pembakaran campuran etanol-bensin yang disemprotkan, terdiri dari E0 (100% bensin), E85 (85% etanol dan 15% bensin) dan E100 (100% etanol) menggunakan nosel tipe lubang untuk mesin penyalaan

busi, injeksi langsung dalam bejana volume konstan bersuhu tinggi dan bertekanan tinggi. Hasil yang didapatkan bahwa semprotan E100 menunjukkan penguapan lebih cepat dari pada E0 karena adanya perbedaan titik didih. Dalam semprotan E85, berdasarkan hasil dari distribusi fase cair dan uap, didapatkan bahwa komponen titik didih rendah (*Low Boiling Point*) dalam bensin akan menguap mirip dengan etanol, dan mendistribusikan secara homogen sepanjang sumbu semprotan. Sementara komponen titik didih tinggi (*High Boiling Point*) merupakan komponen berat dalam bensin yang berada dari tengah ke hilir semprotan, menghasilkan wilayah uap bensin pekat di ujung semprotan setelah akhir langkah injeksi. Analisis dari intensitas pembakaran menunjukkan perbedaan perilaku pembakaran antara E85 dan E100. Setelah etanol ditambahkan, pembakaran menjadi lebih meningkat karena peningkatan kandungan oksigen.

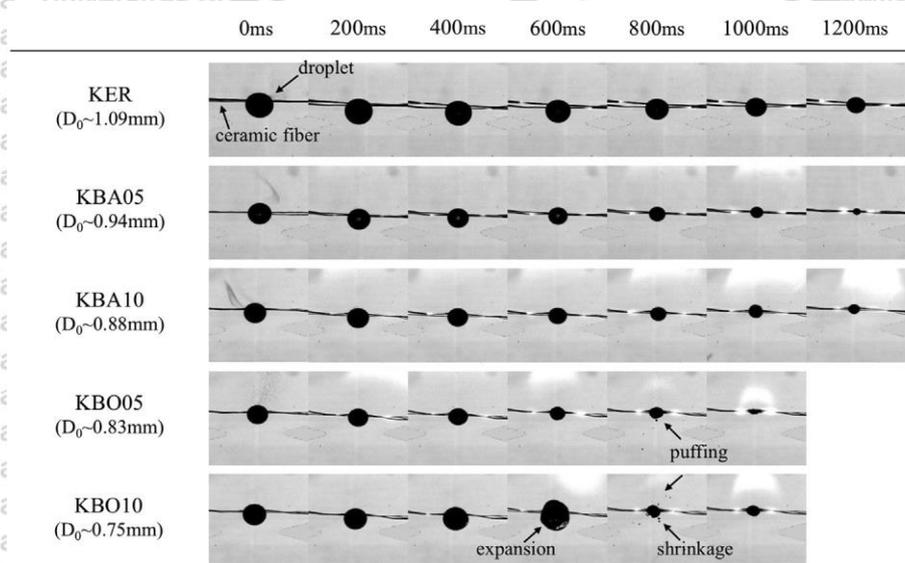
Mikami *et al.* (2018) melakukan penelitian tentang karakteristik penyebaran api antara dua *droplet* (A dan L) dengan diameter yang berbeda. *Droplet n-Decana* ditempatkan di persimpangan  $14\mu$  serat SiC. Pengamatan penyebaran api dari *droplet* A ke *droplet* L di dalam *microgravity*. Hasil penelitian disimpulkan bahwa laju sebaran api berkurang dengan peningkatan jarak *droplet* atau diameter awal *droplet* L untuk diameter awal *droplet* A tetap. Waktu sebaran api diperkirakan sebagai penjumlahan dari waktu konduksi termal dari api di sekitar *droplet* A ke *droplet* L dan waktu pemanasan *droplet* L, yang merupakan waktu yang diperlukan untuk mengaktifkan penguapan *droplet* L. Waktu konduksi termal dan waktu pemanasan *droplet* L meningkat dengan jarak *droplet* dan juga meningkat secara linear dengan kuadrat diameter awal *droplet* L. Selain itu disimpulkan bahwa rasio waktu pemanasan *droplet* L dengan waktu konduksi termal secara kasar tergantung pada diameter *droplet* L sendiri untuk diameter awal *droplet* A tetap.



Gambar 2.2 Perilaku sebaran api dari *droplet* A ke *droplet* L dengan  $S_{AL}/d_{A0} = 6$  (a) Perilaku sebaran api dari *droplet* A ke *droplet* L dengan  $S_{AL}/d_{A0} = 12$  (b) untuk rasio diameter *droplet* yang berbeda  $d_{L0}/d_{A0}$  dan  $d_{A0} = 0,7$  mm.

Sumber: Mikami *et al.* (2018)

Wu dan Yang (2016) melakukan penelitian tentang karakteristik pembakaran *droplet* yang terdiri dari beberapa komponen. Percikan api digunakan untuk memeriksa karakteristik pembakaran. Bahan bakar yang digunakan terdiri atas minyak tanah murni, dan masing-masing campuran minyak tanah dengan 5% dan 10% *bio-oil* kayu cedar fase berair dan berminyak yang diperoleh dari proses pirolisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa diameter *droplet* KER (minyak tanah murni), KBA05 (5% *bio-oil* fase air/95% minyak tanah), dan KBA10 (10% *bio-oil* fase air/90% minyak tanah) menurun menurut hukum  $D^2$ , sedangkan *droplet* KBO05 (5% *bio-oil* fase minyak/95% minyak tanah) tidak konsisten. Selain itu, *droplet* KBO10 (10% *bio-oil* fase minyak/90% minyak tanah) berubah secara drastis, menunjukkan ekspansi, penyusutan dan perilaku *puffing* (uap berhembus keluar dari permukaan *droplet* bersama dengan *droplet* halus) yang menonjol selama proses pembakaran.



Gambar 2.3 Fenomena pembakaran minyak tanah dicampur dengan berbagai rasio *bio-oil* kayu cedar.

Sumber: Wu dan Yang (2016)

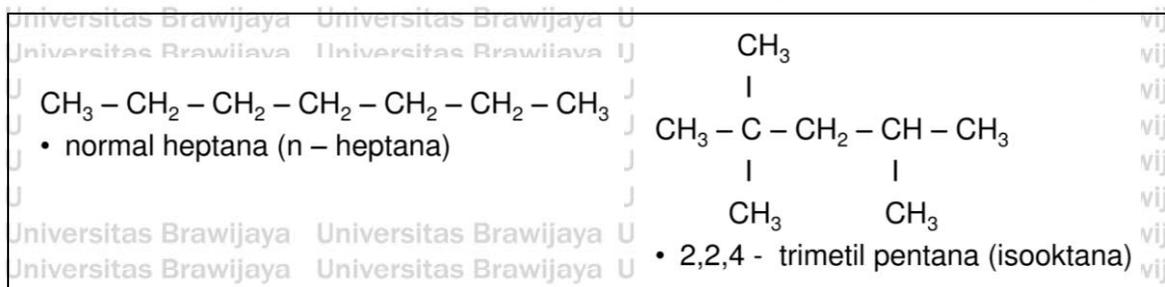
Rao *et al.* (2017) dalam penelitiannya mengamati karakteristik pembakaran *droplet* campuran bahan bakar etanol/Jet A-1 dilakukan pada kondisi suhu ruangan  $25 \pm 5^\circ\text{C}$ , 1 atm, dan  $\text{RH} \sim 75 \pm 5\%$  dengan persentase etanol dalam campuran 10%, 30% dan 50%. Dari hasil penelitian di simpulkan bahwa pada persentase etanol rendah (10%) fenomena yang dominan terjadi adalah *puffing*, dan *abrupt explosion*, sementara fenomena *microexplosion* secara umum terjadi pada persentase etanol yang lebih tinggi (30% dan 50%). Baik *abrupt explosion* dan *microexplosion* menciptakan distorsi api skala besar yang mengelilingi *droplet* induk. *Droplet* sekunder yang dihasilkan dari *abrupt explosion* mengalami

penguapan yang lebih cepat dibandingkan dengan *droplet* sekunder dari *microexplosion*. Hal ini disebabkan karena *absurd explosion* menghasilkan *droplet* sekunder dengan ukuran lebih kecil dibandingkan dengan *microexplosion*.

## 2.2 Bensin

Bensin atau *gasoline* (Amerika) atau *petrol* (Inggris) adalah salah satu jenis bahan bakar minyak yang dimaksudkan untuk kendaraan bermotor roda dua dan empat. Secara sederhana, bensin tersusun dari hidrokarbon rantai lurus mulai dari  $C_4$  sampai dengan  $C_{12}$  yang diperoleh dari destilasi menengah minyak bumi (Sarathi *et al.* 2015). Bensin terbuat dari molekul yang hanya terdiri dari hidrogen dan karbon yang terikat antara satu dengan yang lainnya sehingga membentuk rantai. Molekul hidrokarbon dengan panjang yang berbeda akan memiliki sifat yang berbeda pula. Bensin adalah sejenis campuran bukan senyawa, campuran pada bensin bisa terdiri dari puluhan atau bahkan ratusan senyawa. Jadi sebenarnya tidak ada rumus kimia dari bensin yang ada hanya rumus senyawa-senyawa yang ada dalam bensin. Bensin pada umumnya terdiri dari campuran hasil pengilangan yang mengandung *parafin*, *naphthalene* dan *aromatic* dengan perbandingan yang bervariasi.

Angka oktan merupakan acuan untuk mengukur kualitas dari bensin yang digunakan sebagai bahan bakar mesin bensin. Makin tinggi angka oktan maka makin rendah kecenderungan bensin untuk terjadi *knocking*. *Knocking* adalah ketukan yang menyebabkan mesin mengelitik, mengurangi efisiensi bahan bakar dan dapat pula merusak mesin. Untuk menentukan nilai oktan, ditetapkan dua jenis senyawa sebagai pembanding yaitu *isooktana* dan *n-heptana*. Kedua senyawa ini adalah dua diantara macam banyak senyawa yang terdapat dalam bensin. *Isooktana* menghasilkan ketukan paling sedikit, diberi nilai oktan 100, sedangkan *n-heptana* menghasilkan ketukan paling banyak, diberi nilai oktan 0 (nol). Suatu campuran yang terdiri 90% *isooktana* dan 10% *n-heptana* berarti mempunyai nilai oktan sebesar  $(90/100 \times 100) + (10/100 \times 0) = 90$ .



Gambar 2.4 Senyawa penyusun bensin untuk menentukan RON

Bensin sangat mudah menguap pada temperatur normal, berbau, dapat melarutkan oli dan karet serta meninggalkan sedikit jelaga setelah dibakar. Bensin yang dapat dipasarkan diberi tambahan zat aditif untuk memperbaiki sifat-sifat agar tidak mudah menggumpal bila disimpan lama. Secara umum komponen penyusun bensin terdiri atas beberapa komponen yang diuji dengan menggunakan alat *Gas Chromatography Mass Spectrometri (GC-MS)*, seperti yang disajikan pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Hasil uji komposisi bahan bakar bensin dengan GC-MS

| No | Nama Komponen Penyusun    | Komposisi (%) |
|----|---------------------------|---------------|
| 1  | <i>Iso-butane</i>         | 0,09          |
| 2  | <i>n-Butane</i>           | 0,42          |
| 3  | <i>Iso-pentane</i>        | 2,00          |
| 4  | <i>n-pentane</i>          | 1,67          |
| 5  | <i>2,2-Dimethylbutane</i> | 0,35          |
| 6  | <i>Cyclopentane</i>       | 0,12          |
| 7  | <i>2,3-Dimethylbutane</i> | 0,33          |
| 8  | <i>2-Methylpentane</i>    | 2,28          |
| 9  | <i>3-Methylpentane</i>    | 1,78          |
| 10 | <i>n-Hexane</i>           | 2,45          |
| 11 | <i>Methylpentane</i>      | 0,75          |
| 12 | <i>Benzene</i>            | 3,65          |
| 13 | <i>Cyclohexane</i>        | 0,11          |
| 14 | $C_7^+$                   | 84,00         |
|    | Total                     | 100,00        |

Sumber: Barakat *et al.* (2016)

Umumnya kendaraan di Indonesia saat ini menggunakan beberapa pilihan jenis bahan bakar Pertamina untuk mesin bensin antara lain premium, pertalite dan pertamax. Masing-masing jenis bahan bakar tersebut memiliki angka oktan yang berbeda. Angka oktan menunjukkan berapa besar tekanan maksimum yang dapat diberikan di dalam mesin sebelum bensin terbakar secara spontan. Pada tekanan tertentu bahan bakar akan menyala seiring adanya tekanan pada piston yang menaikkan temperatur di dalam silinder. Penyalaan yang diakibatkan tekanan ini tidak dikehendaki karena dapat menimbulkan *knocking*. Selain itu *knocking* bisa disebabkan karena adanya *hot spot* karbon yang menempel pada ruang bakar

yang kemudian menjadi bara api. Oleh sebab itu dengan penggunaan bahan bakar yang sesuai dengan perbandingan kompresi yang tepat untuk mesin yang digunakan, diharapkan akan mengoptimalkan kinerja mesin, mengurangi kerusakan dan yang lebih penting lagi akan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar.

Bensin memiliki berbagai nama, tergantung pada produsen dan angka oktannya. Beberapa nama produk bensin yang dipasarkan di Indonesia di sajikan dalam tabel 2.2

Tabel 2.2 Produk bensin yang ada di pasaran Indonesia

| No | Nama Komersial Produk   | Produsen  | Angka Oktan | Rasio Kompresi Ideal |
|----|-------------------------|-----------|-------------|----------------------|
| 1  | Premium                 | Pertamina | 88          | 7-9:1                |
| 2  | Pertalite               | Pertamina | 90          | 9-10:1               |
| 3  | Pertamax                | Pertamina | 92          | 10-11:1              |
| 4  | Pertamax <i>plus</i>    | Pertamina | 95          | 11-12:1              |
| 5  | Pertamax <i>racing</i>  | Pertamina | 100         | 13-14:1              |
| 6  | Primax 92               | Petronas  | 92          | 10-11:1              |
| 7  | Primax 95               | Petronas  | 95          | 11-12:1              |
| 8  | <i>Shell Super 92</i>   | Shell     | 92          | 10-11:1              |
| 9  | <i>Shell V-Power 95</i> | Shell     | 95          | 11-12:1              |
| 10 | <i>Performance 92</i>   | Total     | 92          | 10-11:1              |
| 11 | <i>Performance 95</i>   | Total     | 95          | 11-12:1              |

Sumber: Honda (2016)

### 2.3 Etanol

Etanol merupakan senyawa kimia dengan rumus  $C_2H_5OH$  disebut juga etil alkohol, alkohol murni, alkohol absolut, atau alkohol saja, adalah sejenis cairan yang mudah menguap, mudah terbakar, tak berwarna, dan merupakan alkohol yang paling sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Etanol merupakan bahan bakar terbarukan yang dapat diperoleh dari tiga kategori bahan baku, yakni bahan baku yang mengandung sukrosa (seperti tebu, bit, dan buah-buahan), bahan baku yang mengandung pati (seperti jagung, gandum, beras), dan bahan baku *lignoselulosa* (seperti kayu, jerami dan rumput) (Qian *et al.* 2019). Proses pembuatan etanol terdiri atas proses fermentasi, destilasi dan dehidrasi yang akan menghasilkan dua bentuk etanol, yaitu etanol hidrat dan anhidrat. Etanol hidrat diperoleh setelah proses fermentasi dan destilasi dengan kadar kemurnian 95,6% sedangkan etanol anhidrat diperoleh melalui penambahan proses dehidrasi dengan kadar kemurnian

99,5% (Deng *et al.* 2018). Etanol merupakan salah satu sumber energi alternatif yang mempunyai beberapa kelebihan, diantaranya sifat etanol yang dapat diperbarui dan ramah lingkungan yang dapat digunakan sebagai bahan bakar campuran bensin (*gasoline*) yang kemudian dinamakan *gasohol*, dan juga dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar pada motor bensin.

Etanol memiliki angka oktan lebih tinggi dari pada bensin yang dapat meningkatkan bilangan oktan pada saat dicampur, sehingga dapat mengurangi kebutuhan akan bahan aditif beracun seperti benzena, *Tetra Ethyl Lead* (TEL), *Methyl Tertier Butyl Ether* (MTBE). Penambahan etanol pada bensin dapat secara signifikan meningkatkan jumlah oktan bahan bakar. Campuran etanol dengan volume 25–40% dapat meningkatkan jumlah oktan bahan bakar bensin dari 70 menjadi sekitar 90-100 (Badra *et al.* 2017). Lebih jauh lagi, etanol menyediakan oksigen, sehingga pembakaran lebih sempurna dan dapat mengurangi emisi CO dan HC yang dapat mencemari udara. Secara detail, sifat fisik dan kimia bahan bakar etanol dan bensin disajikan dalam Tabel 2.3

Tabel 2.3 Sifat Fisik dan Kimia Bahan Bakar Etanol dan Bensin

| No | Properti bahan bakar                                      | Bensin                         | Etanol                           |
|----|---|--------------------------------|----------------------------------|
| 1  | Rumus Kimia   | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH |
| 2  | Berat Molekul (kg / kmol)                                 | 114,15                         | 46,07                            |
| 3  | Densitas (g/cm <sup>3</sup> )                             | 0,692                          | 0,789                            |
| 4  | Kalor Laten Penguapan (298 K, atm, kJ/kg)                 | 307,3                          | 918,42                           |
| 5  | Panas Spesifik (at 20°C 1 atm, kJ/kgK)                    | 2,01                           | 2,36                             |
| 6  | <i>Heating Value</i> (kJ/kg)                              | 44.000                         | 26.900                           |
| 7  | Stoikiometri Udara-Bahan Bakar (massa)                    | 14,6                           | 9                                |
| 8  | RON ( <i>Research Octane Number</i> )                     | 92                             | 108,6                            |
| 9  | <i>Reid Vapour Pressure</i> (kPa)                         | 53,7                           | 17                               |
| 10 | <i>Flash point</i> (°C)                                   | -40                            | 13                               |
| 11 | Viskositas (at 20°C, mm <sup>2</sup> /s)                  | 0,44                           | 1,19                             |
| 12 | Titik didih (at 1 atm, °C)                                | 30                             | 78                               |
| 13 | <i>Laminar flame speed</i> (at 325 K, 1 atm, φ = 1, cm/s) | 33                             | 39                               |
| 14 | Temperatur <i>Autoignition</i> (°C)                       | 257                            | 423                              |

Sumber: Raja *et al.* (2015), Qian *et al.* (2019), Iodece *et al.* (2016), Prayoga dan Sudarmanta (2015), Yusuf *et al.* (2019), Capatano *et al.* (2016), Hara & Tanoue (2006)

Adapun keunggulan etanol sebagai sumber bahan bakar alternatif pada sektor transportasi adalah sebagai berikut:

1. Bahan bakar etanol merupakan sumber energi terbarukan, yang berarti bahwa bahan bakar etanol tidak terbatas seperti bahan bakar fosil.

2. Pemanfaatan etanol sebagai sumber energi alternatif pengganti maupun campuran bensin (dalam bentuk *gasohol*), dapat mengurangi tekanan terhadap penyediaan BBM, impor BBM, dan subsidi BBM serta mengurangi efek harga minyak yang tidak stabil.
3. Etanol juga dapat berfungsi sebagai aditif yang dapat meningkatkan angka atau bilangan oktan yang berakibat pada peningkatan mutu bahan bakar yang dapat digunakan pada mesin yang memiliki rasio kompresi tinggi.
4. Tingginya kandungan oksigen pada etanol dapat meningkatkan unjuk kerja mesin bensin, karena pembakarannya lebih sempurna, sehingga dapat mengurangi emisi gas buang CO dan HC yang berbahaya bagi manusia dan lingkungan.
5. Kendaraan yang menggunakan *gasohol* (bensin-etanol hingga 20%) sebagai bahan bakar dapat meningkatkan torsi dan daya dibandingkan dengan menggunakan bensin (Singh *et al.* 2016).

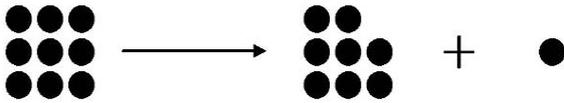
#### 2.4 Kelarutan Bensin-Etanol

Larutan adalah campuran yang bersifat homogen antara molekul, atom ataupun ion dari dua zat atau lebih. Disebut campuran karena susunannya atau komposisinya dapat berubah. Disebut homogen karena susunannya begitu seragam sehingga tidak dapat diamati adanya bagian-bagian yang berlainan. Kelarutan (*solubility*) adalah kemampuan suatu zat kimia tertentu, zat terlarut (*solute*), untuk larut dalam suatu pelarut (*solvent*). Menurut Hiskia (1999) bila dua zat cair dicampur dengan komposisi yang berbeda-beda, maka ada tiga kemungkinan yang dapat terjadi yaitu :

1. Kedua zat cair dapat bercampur dalam tiap komposisi (*miscible*), seperti campuran alkohol dan air.
2. Kedua zat cair tidak dapat bercampur sama sekali (*immiscible*), seperti air dan minyak.
3. Kedua zat cair hanya dapat bercampur pada komposisi tertentu, misalnya antara campuran air-butanol atau air-fenol.

Alasan mendasar yang membuat beberapa cairan tidak dapat bercampur satu sama lain adalah sifat cairan tersebut yang kompleks dan antar molekulnya yang sulit dipisahkan. Dua cairan tidak dapat saling bercampur ketika memiliki sifat dasar yang berbeda. Jika sifat keduanya sama, maka dapat terjadi pencampuran. Jika sifat keduanya hampir sama, maka bisa terjadi pencampuran / tidak terjadi pencampuran. Segala sesuatunya bergantung kepada sifat dasar masing-masing cairan tersebut. Selain itu, temperatur dan tekanan juga merupakan faktor yang mempengaruhi kelarutan suatu zat. Proses pelarutan suatu bahan dapat digambarkan terjadi dalam 3 tahap (Gong *et al.* 2007), tahap-tahap tersebut yaitu :

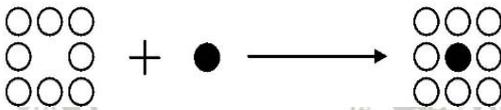
1. Tahap pertama, menyangkut pemindahan suatu molekul zat dari zat terlarut atau pelepasan satu molekul *solute* pada temperatur tertentu.
2. Tahap kedua, menyangkut pembentukan lubang dalam pelarut yang cukup besar untuk menerima molekul zat terlarut.
3. Tahap ketiga, molekul zat terlarut pada akhirnya ditempatkan dalam lubang pelarut. Sehingga lubang dalam pelarut yang terbentuk akan tertutup.



Tahap 1 : Pelepasan satu molekul *solute*



Tahap 2 : Pembentukan celah/rongga pada pelarut



Tahap 3 : Penempatan *solute* ke dalam rongga pelarut

Gambar 2.5 Penggambaran sederhana 3 tahap proses yang terlibat dalam pelarutan *solute*

Sumber: Gong *et al.* (2007)

Jenis-jenis pelarut yang biasanya digunakan untuk melarutkan antara lain:

1. Pelarut polar, yaitu pelarut/senyawa yang terbentuk akibat adanya ikatan antar elektron pada unsur-unsurnya. Hal ini terjadi karena unsur yang berikatan tersebut mempunyai nilai keelektronegatifitas yang berbeda. Senyawa polar memiliki ciri-ciri seperti dapat larut dalam air dan pelarut lain, memiliki kutub positif dan negatif dan memiliki perbedaan keelektronegatifitas. Contoh pelarut polar seperti  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{PCl}_3$  dan  $\text{N}_2\text{O}_5$ .
2. Pelarut non polar, yaitu pelarut/senyawa yang terbentuk akibat adanya suatu ikatan antar elektron pada unsur-unsur yang pembentuknya. Hal ini terjadi karena unsur yang berikatan mempunyai nilai elektronegatifitas yang sama/hampir sama. Senyawa non polar memiliki ciri-ciri seperti tidak dapat larut dalam air dan pelarut polar lainnya, tidak memiliki kutub positif dan negatif, dan keelektronegatifannya sama. Contoh pelarut non polar seperti  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6$ , dan  $\text{CH}_4$ .

3. Pelarut semi polar, yaitu pelarut/senyawa yang memiliki tingkat kepolaran yang lebih rendah dibandingkan dengan pelarut polar. Pelarut semi polar dapat menginduksi tingkat kepolaran molekul-molekul pelarut *non* polar, bertindak sebagai perantara (*intermediate solvent*) untuk mencampurkan pelarut *non* polar dengan *non* polar. Contoh pelarut ini seperti aseton, etil asetat, kloroform, keton dan alkohol dengan rantai karbon pendek/etanol (Hermansson *et al.* 2016).

Menurut Shriner *et al.* (1980) di dalam proses ekstraksi suatu senyawa kimia, berlaku hukum *like dissolves like* yaitu pelarut polar akan melarutkan senyawa polar dan pelarut *non* polar akan melarutkan senyawa *non* polar.

Tabel 2.4 Kelarutan pelarut

|    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |  |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| 1  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 2  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 3  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 4  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 5  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 6  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 7  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 8  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 9  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 10 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 11 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 12 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 13 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 14 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 15 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 16 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 17 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 18 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 19 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 20 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 21 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 22 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 23 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 24 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 25 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 26 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 27 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 28 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 29 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 30 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 31 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |

Sumber: Wako chromatography catalog (2019)

Berdasarkan tabel 2.3 dapat di simpulkan bahwa pencampuran antara bensin dan etanol akan menghasilkan campuran yang sifatnya *miscible* (bercampur). Etanol memiliki tingkat kepolaran yang rendah atau pelarut semi polar yang menyebabkan dapat bercampur dengan bensin, alasan lain adalah karena etanol memiliki gugus yang bersifat polar dan *non* polar, gugus *non* polarnya adalah etil ( $\text{CH}_3\text{CH}_2-$ ) dan gugus polarnya adalah  $-\text{OH}$  sehingga dapat larut pada zat polar dan *non* polar (Shields regents chemistry U12 L06, 2014).

## 2.5 Pembakaran

Pembakaran merupakan reaksi kimia oksidasi yang sangat cepat antara oksigen dan bahan bakar yang dapat terbakar dengan bantuan energi dari luar (energi aktivasi) disertai dengan timbulnya cahaya (*flame*) dan menghasilkan kalor (Turn, 1996). Sedangkan menurut Wardana, (2008) pembakaran adalah proses lepasnya ikatan-ikatan kimia lemah bahan bakar akibat pemberian energi tertentu dari luar menjadi atom-atom yang bermuatan dan aktif sehingga mampu bereaksi dengan oksigen membentuk ikatan molekul-molekul yang kuat yang mampu menghasilkan cahaya dan panas dalam jumlah yang besar. Pembakaran dalam proses terjadinya membutuhkan tiga unsur utama yaitu: bahan bakar, pengoksidasi (oksigen atau udara) dan energi aktivasi. Energi aktivasi adalah energi yang dibutuhkan untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar, sedangkan jumlah energi yang dibutuhkan untuk memutus 1 mol ikatan kimia bahan bakar disebut energi disosiasi (kJ/mol). Ilustrasi pembakaran seperti terlihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Ilustrasi proses pembakaran

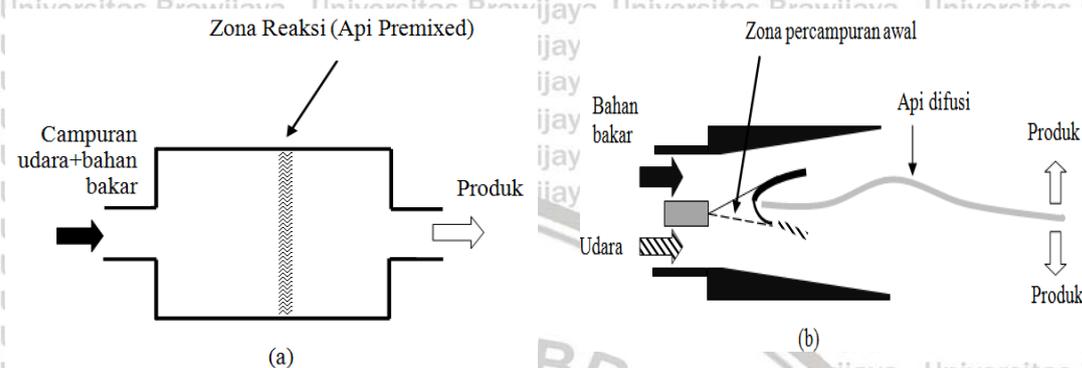
Sumber: Wardana (2008)

Berdasarkan kondisi pencampuran bahan bakar dengan oksigen, pembakaran dibedakan menjadi dua jenis yaitu:

1. Pembakaran *premixed* adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan oksigen (udara) sebagai pengoksidasi sudah bercampur terlebih dahulu secara mekanik sebelum terjadi pembakaran. Keberhasilan dari pembakaran *premixed* dipengaruhi oleh faktor homogenitas campuran bahan bakar dan udara dimana pembakaran pada campuran

bahan bakar dan udara yang tidak homogen menghasilkan pembakaran yang tidak sempurna dan tekanan yang dihasilkan tidak maksimal (Wardana, 2008).

2. Pembakaran difusi adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan oksigen (udara) sebagai pengoksidasi tidak bercampur secara mekanik, melainkan dibiarkan bercampur sendiri secara alamiah melalui proses difusi yang selanjutnya akan terjadi proses pembakaran.



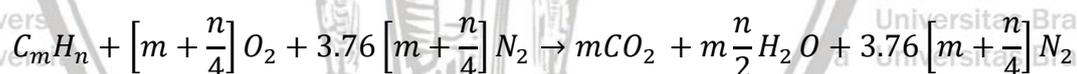
Gambar 2.7 Cara reaktan terbakar, (a) pembakaran *premixed*, (b) pembakaran difusi:

———— Permukaan api *premixed* kaya bahan bakar

/////// Permukaan api *premixed* kaya udara

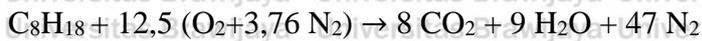
Sumber: Wardana (2008)

Jika oksigen yang dibutuhkan untuk proses pembakaran diperoleh dari udara, dimana udara terdiri dari 21% oksigen dan 79% nitrogen maka reaksi pembakaran stoikiometri (teoritis) bahan bakar hidrokarbon murni  $C_mH_n$  dapat dituliskan dengan persamaan:

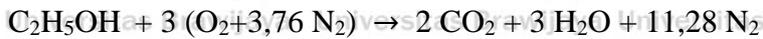


Persamaan ini telah disederhanakan karena cukup sulit untuk menuliskan secara detail dan lengkap seluruh reaksi yang terjadi pada proses pembakaran. Proses pembakaran sempurna dengan rasio ekuivalen yang tepat dari udara sulit terjadi, karena pada kondisi sebenarnya pembakaran sempurna hampir tidak dapat terjadi akibat pembakaran yang berlangsung secara kompleks, tidak hanya bergantung pada model ruang bakarnya tetapi juga bergantung pada kondisi bahan bakar, udara dan temperatur pembakarannya. Jika terjadi pembakaran tidak sempurna, maka hasil persamaan di atas tidak hanya mengandung  $CO_2$  dan  $H_2O$ , akan tetapi juga mengandung hasil oksidasi parsial berupa  $CO$ , juga sering terbentuk hidrokarbon tak jenuh, formaldehida dan kadang-kadang didapat juga karbon dalam gas hasil pembakarannya. Berikut reaksi pembakaran stoikiometri bensin-etanol:

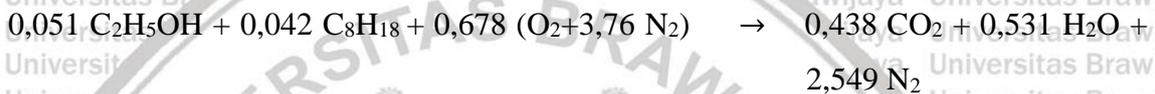
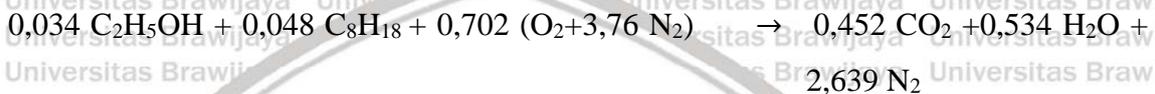
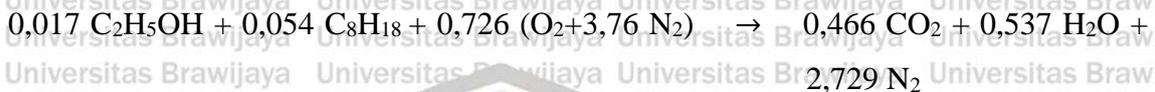
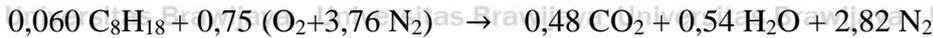
1. Reaksi pembakaran stoikiometri bensin ( $C_8H_{18}$ )



2. Reaksi pembakaran stoikiometri Etanol ( $C_2H_5OH$ )



3. Reaksi pembakaran stoikiometri bensin-etanol (*Gasohol*) dengan persentase volume etanol 0%, 10%, 20%, 30% dan 100% dari total 10 ml campuran dengan densitas etanol sebesar  $0,789 \text{ g/cm}^3$  dan densitas bensin sebesar  $0,692 \text{ g/cm}^3$ .



### 2.5.1 Pembakaran Bahan Bakar Cair

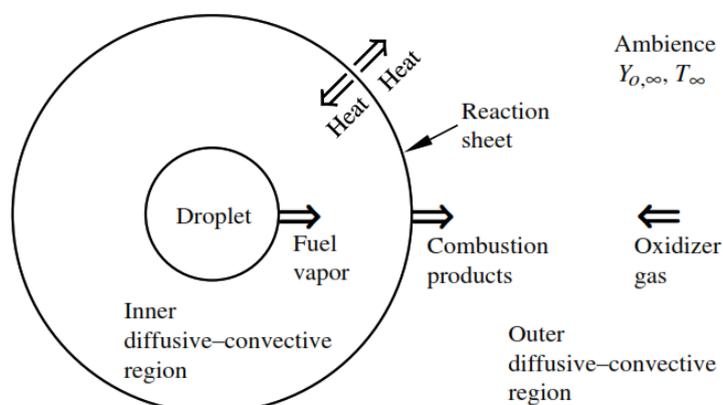
Pada umumnya proses pembakaran bahan bakar cair terdiri atas 2 tahapan yaitu proses atomisasi dan proses pembakaran. Proses atomisasi adalah pemecahan semprotan bahan bakar menjadi butiran-butiran *droplet*, lalu terjadi penguapan *droplet* bahan bakar, dimana semakin kecil ukuran butiran *droplet* maka proses penguapan akan semakin cepat, dan luas permukaan akan meningkat. Hal ini mengakibatkan semakin banyak luas permukaan bahan bakar cair yang kontak dengan udara, yang kemudian dilanjutkan tahapan proses pembakaran. Pada tahapan proses pembakaran akan terjadi reaksi pembakaran dan pembentukan emisi.

Proses pemecahan semprotan bahan bakar menjadi butiran-butiran *droplet* juga dipengaruhi oleh properti bahan bakar. Bahan bakar cair akan lebih sulit terbakar dibandingkan dengan bahan bakar gas alam karena bahan bakar cair harus diubah menjadi gas terlebih dulu untuk dapat bereaksi dengan oksigen (udara). Bahan bakar cair yang kental (viskositas tinggi) perlu terlebih dahulu dipanaskan untuk menurunkan viskositasnya untuk memudahkan dalam proses atomisasi menjadi partikel kecil (kabut) bahan bakar sehingga proses penguapan dan pencampuran dengan udara menjadi lebih cepat untuk tercapainya pembakaran yang sempurna.

## 2.5.2 Pembakaran *Droplet*

Pembakaran bahan bakar cair campuran bensin-etanol yang terjadi pada motor bensin merupakan pembakaran dari bahan bakar yang berbentuk tetesan atau butiran-butiran yang sangat kecil yang disebut *droplet*, dalam jumlah yang sangat banyak yang disebut *spray* (kabut) bahan bakar. Pembentukan *spray* bahan bakar tersebut akan menyebabkan penguapan bahan bakar akan lebih cepat dan mudah bila dibandingkan dengan penguapan bahan bakar yang berdimensi lebih besar. Oleh karena itu, untuk mengetahui dan memahami karakteristik pembakaran *spray* bahan bakar yang terjadi didalam ruang bakar mesin bensin, dapat diperiksa lebih lanjut melalui perilaku pembakaran *droplet*. Dalam penelitian ini akan dilakukan pengamatan pada pembakaran sebuah *droplet* campuran bensin-etanol.

Pada pembakaran *droplet* bahan bakar terjadi dengan proses oksidasi udara atmosfer, dimana proses penguapan akan dimulai dari permukaan cairan kemudian berdifusi ke permukaan nyala api (*flame front*). Sementara oksigen akan bergerak dan berdifusi dari lingkungan sekeliling *droplet* menuju ke permukaan nyala api. Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik nyala terbagi menjadi dua variabel yaitu faktor fisik dan faktor kimia. Variabel fisik diantaranya adalah tekanan dan temperatur, sedangkan variabel kimia diantaranya adalah rasio campuran dan struktur hidrokarbon.

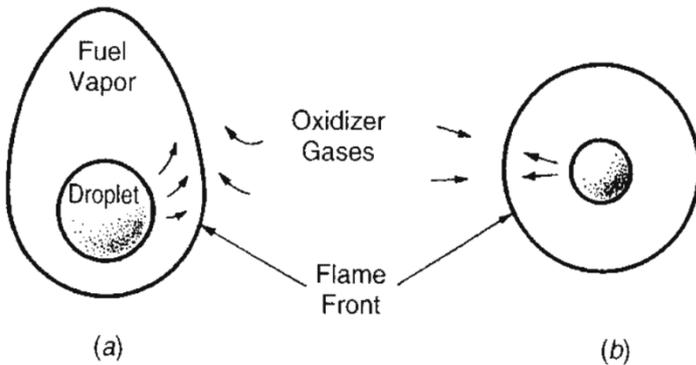


Gambar 2.8 Skema pembakaran *droplet* model *spherical*

Sumber: Law C.K (2006:217)

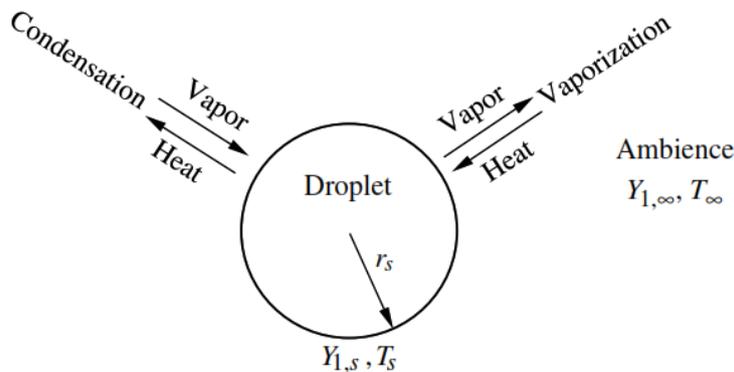
Bentuk nyala api pada pembakaran *droplet* bisa berupa *spherical* (bulat) atau *non-spherical* (tidak bulat). Pada umumnya nyala api *non-spherical* disebabkan oleh efek konveksi akibat gerakan relatif antara gas dan *droplet* sekelilingnya. Saat bentuk *droplet* mengecil, *droplet* akan ditahan oleh gas di sekelilingnya dan kecepatan relatif antara gas dan *droplet* menjadi sangat kecil. Hal ini akan menyebabkan nyala api dari *droplet* dapat mendekati *spherical* (Kuo, 2005:569). Akan tetapi pembakaran *droplet* aktual yang terjadi

di bumi tidak ada yang ideal menghasilkan api berbentuk bulat karena proses pembakaran selalu menginduksi gaya apung yang akan mendorong gas panas ke atas sehingga api akan berbentuk lonjong dan bahkan memanjang ke atas (Wardana, 2008).



Gambar 2.9 Model nyala api *droplet* (a) *non-spherical* (b) *spherical*  
Sumber: Kuo (2005:569)

Selama proses pembakaran, akan terjadi perambatan api dari nyala api menuju permukaan *droplet*. Temperatur gas hasil pembakaran yang lebih tinggi akan dipindahkan secara konveksi menuju permukaan *droplet*. Panas yang diterima oleh permukaan *droplet* akan digunakan untuk memanaskan *droplet* menuju fase gas. Peristiwa ini disebut dengan penguapan (*evaporation*).



Gambar 2.10 Skema penguapan *droplet* model *spherical*  
Sumber: Law C.K (2006:215)

Besarnya energi yang dibutuhkan untuk penguapan *droplet* dapat diketahui dengan persamaan di bawah ini:

$$Q = \Delta h_v + C_{liq}(T_s + T_0) \quad (\text{Kuo, 2005:373})$$

Dimana:

$Q$  = Energi total penguapan (cal/gr)

$\Delta h_v$  = Kalor laten (cal/gr)

$C_{liq}$  = Kalor jenis bahan bakar (cal/gr<sup>0</sup>C)

$T_s$  = Temperatur permukaan *droplet* (°C)

$T_0$  = Temperatur awal *droplet* (°C)

### 2.5.3 D<sup>2</sup> Law Penguapan dan Pembakaran *Droplet*

Analisa terhadap proses penguapan dan pembakaran *droplet* dibatasi oleh beberapa asumsi sebagai berikut:

1. Bentuk *droplet* bulat sempurna sehingga semua perubahan yang menyangkut ruang terjadi ke arah jari-jari *droplet*.
2. *Droplet* adalah cairan komponen tunggal.
3. *Droplet* berada pada kondisi temperatur penguapan sehingga hanya diperlukan suplai panas sebesar panas laten penguapan.
4. Kecepatan aliran rendah sehingga tekanan dipermukaan *droplet* tetap.
5. Laju reaksi kimia jauh lebih tinggi dari pada laju difusi dan oleh sebab itu reaksi-reaksi selesai di depan api dengan ketebalan yang sangat kecil.
6. Suhu *droplet* konstan dan seragam.
7. Kerapatan cairan jauh lebih besar dari pada kerapatan fase gas sehingga laju perubahan jari-jari *droplet* terhadap waktu jauh lebih kecil dari kecepatan difusi fase gas di dekat permukaan *droplet*.
8. Efek radiasi diabaikan.

Dari beberapa asumsi di atas yang diatur oleh persamaan dan kondisi batas maka diturunkan D<sup>2</sup>-Law, sebagai berikut:

$$d^2 = d_0^2 - Kt \quad (\text{Yang. \& Wu, 2017})$$

Maka

$$K = \frac{d_0^2 - d^2}{t}$$

Dimana :

$K$  = Konstanta *burning rate* (mm<sup>2</sup>/s)

$d$  = diameter *droplet* pada waktu  $t$  (mm)

$d_0$  = diameter awal *droplet* (mm)

$t$  = waktu (s)

Dari rumusan di atas menyatakan bahwa diameter *droplet* akan semakin mengecil seiring dengan berjalannya waktu, karena menguapnya sebagian massa *droplet* sebagai akibat terjadinya perpindahan panas yang merubah fase *droplet* dari cair menjadi uap yang terbakar.

#### 2.5.4 Ignition delay

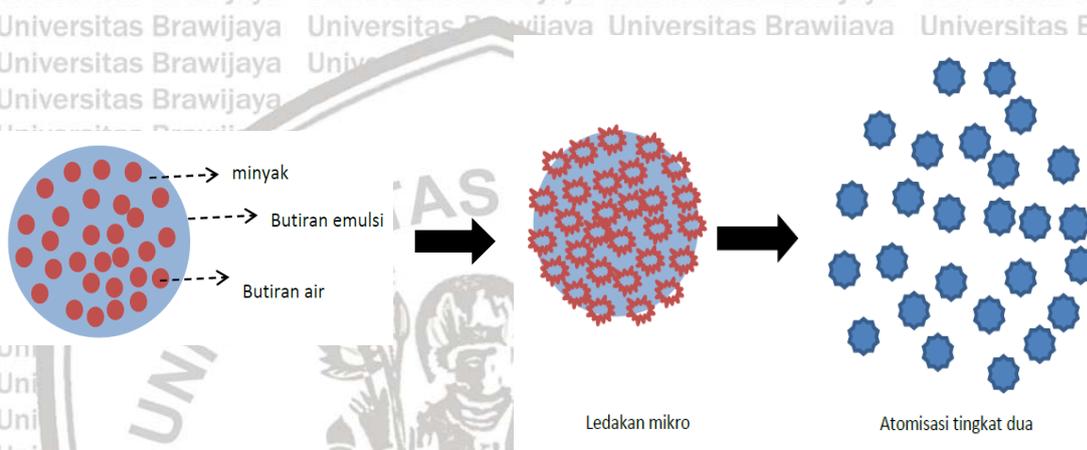
*Ignition delay* merupakan proses penguapan dan pencampuran antara udara dan bahan bakar saat dinyalakannya energi aktivasi hingga terjadinya pembakaran. Pada jeda waktu antara penyalaan bahan bakar *droplet* hingga munculnya titik api, jika dianalisa lebih mendalam, maka bahan bakar akan mengalami proses fisika maupun kimia yang kompleks. Secara fisika seperti proses atomisasi dan evaporasi bahan bakar sedangkan secara kimiaseperti pemanasan bahan bakar menyebabkan molekul-molekulnya bermuatan yang disebut ion sedangkan molekul bermuatan akibat pemutusan ikatan molekul disebut radikal bebas yang sangat mudah bereaksi karena ketidakstabilan muatannya yang menyebabkan reaksi pembakaran bisa berlangsung (Wardana, 2008). *Ignition delay* pada bahan bakar sangat tergantung pada tingkat penguapan bahan bakar, semakin cepat bahan bakar menguap maka semakin cepat pula pembakaran terjadi.

#### 2.5.5 Burning Rate

*Burning rate* atau kecepatan pembakaran adalah massa dari bahan bakar padat atau cair yang dikonsumsi per unit waktu. *Burning rate* pada pembakaran *droplet* sejalan dengan waktu menipisnya bahan bakar dari penyalaan awal hingga api padam. Secara umum kecepatan pembakaran diukur berdasarkan massa, sehingga satuannya adalah gram per detik (Quintere, 1998). Namun karena pada pembakaran *droplet* ukurannya yang sangat kecil sehingga sangat sulit untuk mengukur kecepatan pembakaran berdasarkan massa, oleh karena itu digunakanlah perbandingan diameter yang ditinjau dari luas permukaan, sehingga satuannya menjadi milimeter kuadrat per detik ( $\text{mm}^2/\text{detik}$ ).

### 2.5.6 *Microexplosion*

*Microexplosion* adalah suatu fenomena ledakan kecil yang terjadi pada pembakaran *droplet* bahan bakar cair yang terdiri dari dua jenis cairan atau lebih yang terjadi karena perbedaan titik didih masing-masing zat penyusun bahan bakar cair. Menurut Zeng dan Lee (2007), *microexplosion* merupakan ledakan *droplet* karena terjadinya penguapan internal di dalam *droplet*, ledakan tersebut berpotensi meningkatkan *engine performance* karena dapat menjadi proses atomisasi tingkat dua (*secondary atomization*) bahan bakar. Tahapan dari *microexplosion* ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Ilustrasi ledakan *microexplosion* menghasilkan atomisasi tingkat dua  
Sumber : Bindar (2012)

*Microexplosion* menyebabkan terjadinya atomisasi sekunder bahan bakar, sehingga *droplet* pecah menjadi butiran butiran kecil sehingga membantu mempercepat proses penguapan dan pembakaran. Selain itu kualitas campuran bahan bakar dan udara akan meningkat sehingga dapat terjadi pembakaran yang lebih sempurna (Shingo *et al.* 2014).

*Microexplosion* disebabkan karena kecepatan difusi massa yang terbatas dari *droplet*. Komponen yang memiliki volatilitas rendah tidak dapat muncul ke permukaan cukup cepat untuk mengimbangi laju penguapan yang lebih cepat dari komponen lain, sehingga fraksi massa dari komponen yang memiliki volatilitas lebih rendah di dalam *droplet* lebih besar dari pada dipermukaan. Sebagai konsekuensinya, walaupun temperatur permukaan *droplet* tidak melebihi titik didinya, temperatur di beberapa daerah dalam *droplet* kemungkinan lebih besar dari pada nilai titik didihnya sehingga terdapat gas yang terjebak di dalam *droplet* menciptakan gelembung-gelembung uap. Ketika tekanan di dalam *droplet* cukup tinggi maka terjadilah ledakan (*microexplosion*) (Wang & Law 1985).

*Microexplosion* berdasarkan waktu dan kekuatannya dibagi menjadi tiga tahap berbeda, yaitu pada tahap pertama adalah tahap intensitas rendah, tahap kedua adalah tahap intensitas tinggi, dan tahap ketiga adalah tahap intensitas sedang. Selama proses pembakaran *droplet*, *microexplosion* terjadi terus menerus namun *droplet* tetap mempertahankan bentuk seperti bola (Chen *et al.* 2017).



## BAB III KERANGKA KONSEP

### 3.1 Kerangka Pikir

Etanol merupakan sumber energi alternatif yang banyak dikembangkan saat ini, mengingat bakar bakar fosil yang jumlahnya semakin menipis. Etanol dapat menjadi sumber energi alternatif yang baik, karena bersifat ramah lingkungan, dapat diperbaharui, dan bahan bakunya berlimpah. Etanol diperoleh dari tiga kategori bahan baku, yakni bahan baku yang mengandung sukrosa (seperti tebu, bit, dan buah-buahan), bahan baku yang mengandung pati (seperti jagung, gandum, beras), dan bahan baku *lignoselulosa* (seperti kayu, jerami dan rumput) (Qian *et al.* 2019). Proses pembuatan etanol terdiri atas proses fermentasi, destilasi dan dehidrasi yang akan menghasilkan dua bentuk etanol, yaitu etanol hidrat dan anhidrat. Etanol hidrat diperoleh setelah proses fermentasi dan destilasi dengan kadar kemurnian 95,6% sedangkan etanol anhidrat diperoleh melalui penambahan proses dehidrasi dengan kadar kemurnian 99,5% (Deng *et al.* 2018). Etanol dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar bensin yang kemudian dinamakan *gasohol*, dan juga dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar pengganti bensin.

Satu molekul OH yang dimiliki etanol dalam susunan molekulnya, merupakan oksigen yang *inheren* yang dapat membantu penyempurnaan pembakaran antara campuran udara dan bahan bakar dalam silinder. Semakin sempurna pembakaran maka emisi UHC akan semakin rendah. Ditambah dengan rentang keterbakaran (*flammable range*) yang lebar dengan konsentrasi campuran antara uap bahan bakar dengan udara sekitar 4.3-19% volume dibandingkan dengan bensin yang memiliki rentang keterbakaran 1.4–7.6% volume, sehingga pembakaran campuran etanol-udara menjadi lebih baik. Hal inilah yang dipercaya sebagai faktor penyebab relatif rendahnya emisi CO dan HC dibandingkan dengan pembakaran bensin-udara. Temperatur puncak dalam selinder lebih rendah dari pada pembakaran bensin sehingga emisi NO<sub>x</sub> juga turun. Selain itu pendeknya rantai karbon pada etanol menyebabkan emisi UHC pada pembakaran etanol relatif lebih rendah dibandingkan dengan bensin yakni berselisih hingga 130 ppm (Yuksel *et al.* 2004).

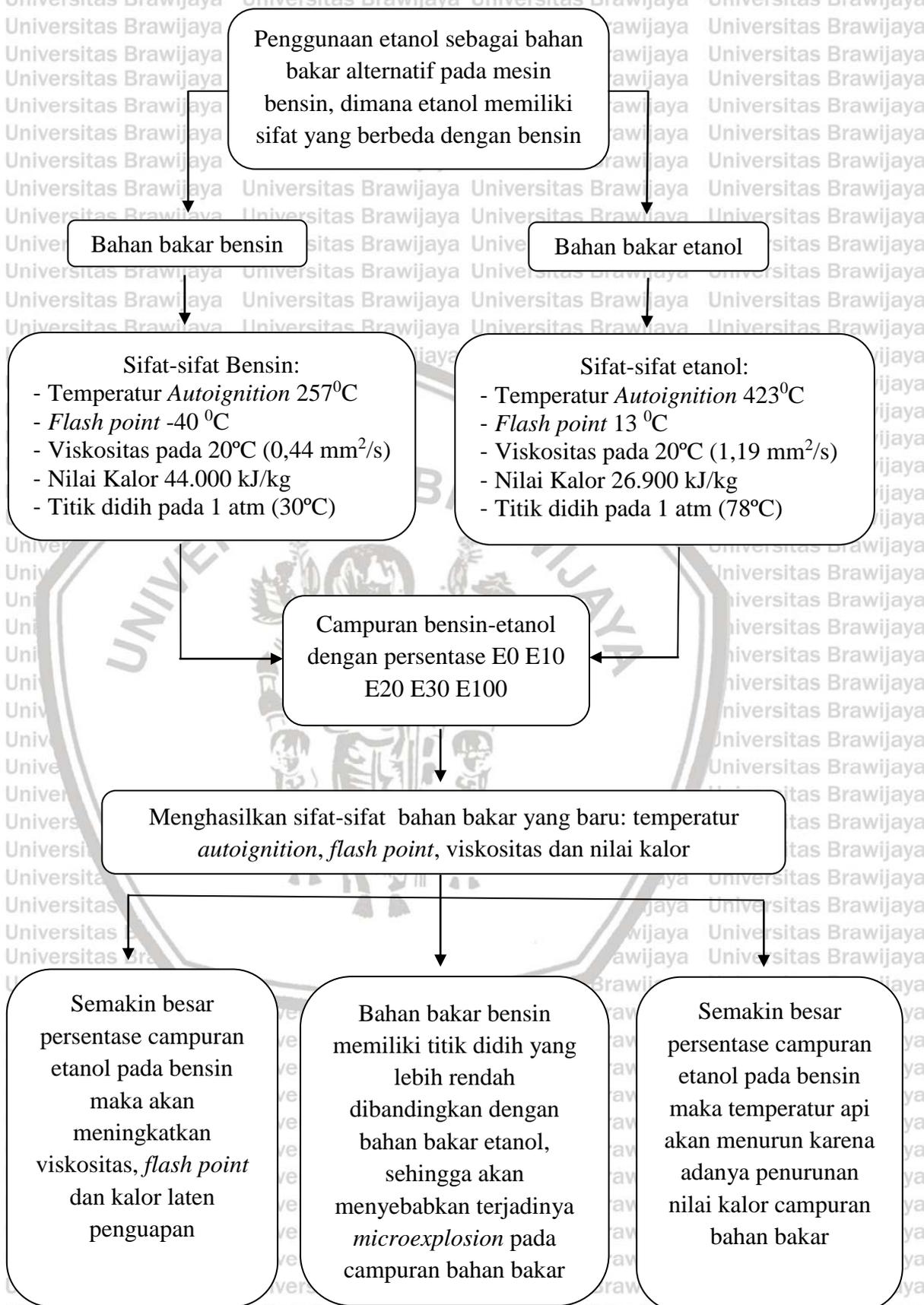
Meskipun etanol dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti maupun campuran bahan bakar bensin, akan tetapi karakteristik etanol memiliki sifat yang berbeda dengan karakteristik bensin dan memiliki kekurangan antara lain: Pemakaian etanol murni

secara langsung pada mesin bensin akan sulit karena diperlukan banyak modifikasi. Pada temperatur rendah etanol akan sulit terbakar, sehingga dengan etanol murni mesin akan sulit *starting*. Sifat etanol yang korosif dapat merusak komponen mesin seperti aluminium, karet, timah, plastik. Nilai kalor etanol lebih kecil dari nilai kalor bensin hanya sekitar 60% yang berarti untuk mendapatkan energi yang jumlahnya sama, etanol yang diperlukan akan lebih banyak. Adanya oksigen dalam etanol juga mengakibatkan campuran menjadi lebih miskin jika dibandingkan dengan bensin, sehingga campuran harus dibuat lebih kaya untuk mendapatkan unjuk kerja mesin yang diinginkan (Jeuland *et al.* 2004).

Pengamatan secara analisis dari kedua sifat bahan bakar tersebut pada angka viskositas memiliki selisih yang sangat jauh, angka viskositas pada temperatur 20°C untuk bensin yaitu 0,44 mm<sup>2</sup>/s dan pada etanol yaitu 1,19 mm<sup>2</sup>/s (Yusuf *et al.* 2019). Hal tersebut dapat mempengaruhi proses pembakaran pada mesin bensin dengan sistem EFI (*Electronic Fuel Injection*) karena viskositas yang tinggi dapat menghambat bahan bakar terbakar dikarenakan proses atomisasi bahan bakar akan sulit dan memerlukan tekanan yang besar untuk membuat bahan bakar menjadi partikel-partikel kecil (*droplet*). Selain itu etanol memiliki angka *flash point* yang lebih tinggi yaitu sebesar 13°C dibandingkan bensin yaitu sebesar -40°C. Tingginya angka *flash point* bahan bakar etanol dapat menyebabkan waktu penyalaan bahan bakar etanol semakin lama karena kecepatan penguapannya (*volatility*) yang lambat.

Untuk mengatasi kekurangan-kekurangan penggunaan etanol pada mesin bensin yaitu dengan cara melakukan pemanasan awal bahan bakar etanol sebelum diinjeksikan ke ruang bakar sehingga dapat menurunkan angka viskositas bahan bakar dan efektif untuk mengatasi masalah tingkat penguapan etanol yang rendah di lingkungan mesin suhu rendah dan efek pendinginan berlebih pada kondisi rasio etanol tinggi (Huang *et al.* 2016). Namun hal tersebut membuat waktu terbuang lebih lama dan memerlukan alat pemanas yang dapat merubah *setting* mesin bensin. Alternatif lain untuk mengatasi berbagai kekurangan penggunaan etanol pada mesin bensin adalah dengan mencampurkan bahan bakar bensin-etanol dengan persentase etanol divariasikan sebesar 0% (E0), 10% (E10), 20% (E20), 30% (E30) dan 100% (E100).

Dari hasil campuran tersebut menghasilkan sifat-sifat bahan bakar yang baru, dimana campuran bahan bakar tersebut akan dibandingkan dengan cara menguji karakteristik pembakaran *droplet* yang meliputi *ignition delay time*, lama nyala api, konstanta *burning rate*, temperatur api, tinggi api dan *microexplosion*. Dari hasil tersebut dapat diketahui campuran manakah yang lebih efisien untuk digunakan pada mesin bensin.



Gambar 3.1 Diagram kerangka konsep

### 3.2 Hipotesis

Berdasarkan teori yang telah dipaparkan sebelumnya, maka dapat ditarik suatu kesimpulan sementara berkaitan rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini, bahwa persentase campuran etanol pada bahan bakar bensin mempengaruhi hal berikut:

1. Semakin tinggi persentase campuran etanol dalam bensin pada pembakaran *droplet* maka nilai *ignition delay time*, lama nyala api semakin tinggi.
2. Semakin tinggi persentase campuran etanol dalam bensin pada pembakaran *droplet*, maka nilai temperatur api, konstanta *burning rate* dan tinggi api semakin rendah.
3. Terjadi fenomena *microexplosion*, dikarenakan adanya perbedaan titik didih antara bahan bakar etanol dengan bahan bakar bensin.



## BAB IV METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental (*experimental method*). Adapun parameter yang akan diteliti adalah karakteristik pembakaran *droplet* campuran bensin-etanol dengan persentase etanol sebesar 0%, 10%, 20%, 30% dan 100% (persentase dihitung berdasarkan volume). Hasil dari percobaan ini akan dimasukkan ke dalam suatu tabel penelitian, kemudian dianalisis dan kemudian dibuat suatu diagram untuk melihat kecenderungan yang terjadi, sehingga dapat dibandingkan dan diambil suatu kesimpulan mengenai pengaruh penambahan etanol terhadap karakteristik pembakaran *droplet* bensin-etanol.

### 4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pada rentang waktu bulan Februari 2019-Maret 2019. Tempat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Laboratorium Mesin-mesin Fluida Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

### 4.2 Variabel Penelitian

Adapun variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

#### 1. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya telah ditentukan dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah persentase volume etanol di dalam campuran bensin-etanol. Persentase etanol divariasikan sebesar 0% (E0), 10% (E10), 20% (E20), 30% (E30) dan 100% (E100).

#### 2. Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung pada variabel bebas. Pada penelitian ini yang menjadi variabel terikatnya adalah *ignition delay time*, lama nyala api, konstanta *burning rate*, tinggi api, temperatur api dan *microexplosion*.

#### 3. Variabel Kontrol (*Controlled Variable*)

Variabel kontrol adalah variabel yang besarnya dikonstankan. Dalam hal ini yang menjadi variabel kontrol adalah diameter *droplet* sebesar 1 mm dengan toleransi  $\pm 0,1$  mm. Penyalaan *droplet* dilakukan dengan pemanasan dari nyala api pembakaran butana-udara pada *cylindrical burner*. Debit bahan bakar butana dijaga konstan sebesar 10

ml/menit dan debit udara sebesar 400 ml/menit. Temperatur pada titik peletakan *droplet* 28°C-30°C.

### 4.3 Alat dan Bahan Penelitian

#### 4.3.1 Alat Penelitian

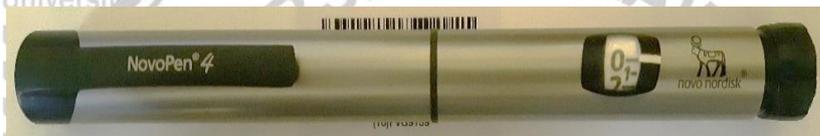
Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

##### 1. Botol plastik

Digunakan sebagai wadah untuk mencampur dan menyimpan campuran bahan bakar bensin-etanol. Botol plastik berukuran 60 ml.

##### 2. Alat pembentuk *droplet*

Alat ini digunakan untuk membentuk *droplet* bahan bakar bensin-etanol yang dilengkapi dengan pengatur debit keluaran bahan bakar bensin-etanol. Merek Novo Pen 4 Novo nordisk buatan China.

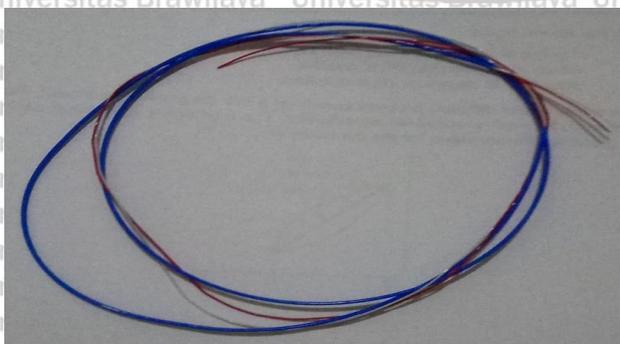


Gambar 4.1 Alat pembuat *droplet*

##### 3. Termokopel

Berfungsi sebagai sensor panas untuk membaca temperatur api yang dihasilkan dari pembakaran *droplet* bahan bakar bensin-etanol. Adapun termokopel yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Jenis : Tipe K
- Diameter : 0,1 mm
- Range pengukuran : 0°C - 1370°C



Gambar 4.2 Termokopel

#### 4. Data Logger

Digunakan untuk mengubah data analog dari termokopel menjadi data digital sehingga bisa dibaca oleh *laptop*.

Spesifikasi:

- Merek : DAQNav\_i\_SDK
- Series : 3.2.3.0
- Daya : 5V@60mA;Max;5V@400mA
- Bus : USB 1.1/2.0
- Dimensi : 132 x 80 x 32 mm (5,2" x 3,15" x 1,26")
- *Input channels* : 8
- *Input range* : 5-30 V DC
- *Output channels* : 8 x *Form channels*



Gambar 4.3 Data logger

#### 5. Selang

Digunakan untuk menyalurkan bahan bakar dan udara dari kompresor, dengan merek Pisco diameter dalam 4 mm diameter luar 6 mm dan terbuat dari material *urethane*.

#### 6. Y Connector

Digunakan sebagai tempat pencampuran bahan bakar dan udara, merek Wipro dengan diameter dalam 6 mm.

#### 7. Pipa Besi

Dalam penelitian ini pipa besi digunakan sebagai *cylindrical burner* dengan diameter dalam 4 mm dan diameter luar 6 mm.

#### 8. Flame ignitor cover

Digunakan sebagai bagian pelapis yang diletakkan antara termokopel dengan sumber api yang terbuat dari kayu dengan ukuran panjang 115 mm, lebar 65 mm dan

ketebalan 5 mm. Fungsi dari kayu ini adalah mencegah perpindahan panas dari nyala api pemanas ke *droplet* sebelum pengamatan mulai dilakukan.

#### 9. Flowmeter

Digunakan untuk mengatur debit bahan bakar dan udara, dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Merek : Kofloc
- Satuan : ml/menit pada 20°C 1 atm
- Range : 10 ml/menit-100 ml/menit untuk butan dan 50 ml/menit-500 ml/menit untuk udara.



Gambar 4.4 Flowmeter

#### 10. Kompresor

Digunakan sebagai penyuplai udara pada instalasi penelitian, adapun spesifikasi dari kompresor yang digunakan yaitu merek lakoni Imola 75, *power* 0,75 HP/0,5 KW, voltage 220 V/50Hz, kapasitas tangki 10 ltr dengan tekanan maksimum 8 bar.



Gambar 4.5 Kompresor udara

#### 11. Botol gas butana

Digunakan sebagai sumber bahan bakar untuk memanaskan *droplet* bahan bakar.

#### 12. Kamera

Digunakan untuk merekam proses terjadinya nyala api selama proses pembakaran *droplet* bensin-etanol di dalam ruang uji bakar sehingga dapat digunakan untuk analisa visual. Adapun kamera yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Merek dan tipe : Nikon D3400
- Resolusi perekam video : 1080 p (60 fps)
- Pixels : 24.2 Megapixel
- ISO : 100-25600



Gambar 4.6 Kamera Nikon D 3400

#### 13. Tripod

Berfungsi sebagai tempat kamera agar peletakan kamera dapat stabil pada posisi tertentu, sehingga menghasilkan perekaman video dengan kualitas yang baik.

Spesifikasi: Tinggi maksimal : 1060 mm

#### 14. Laptop

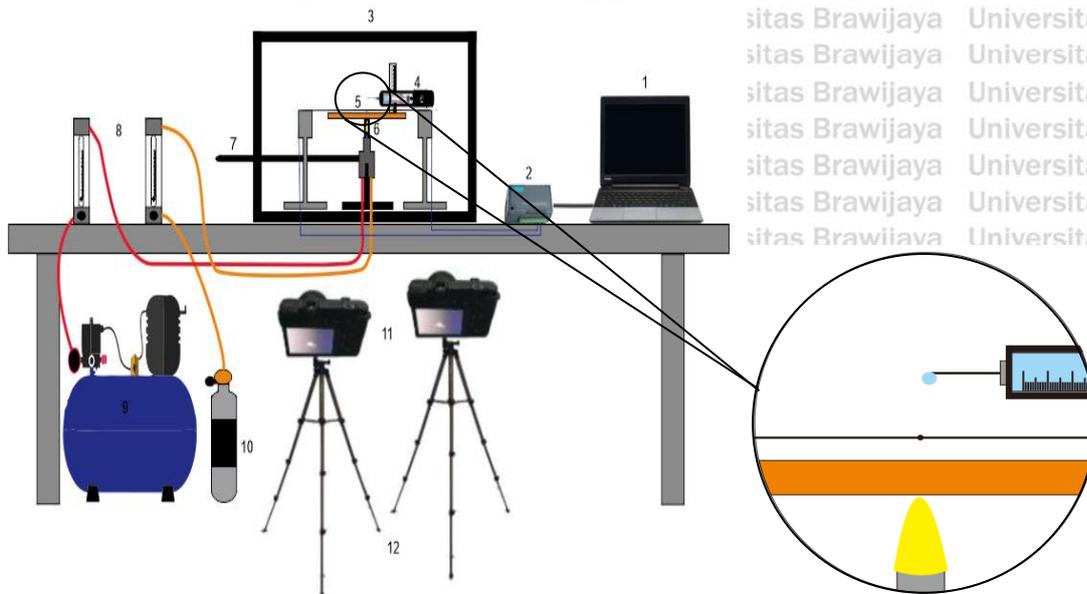
Digunakan untuk membaca, menyimpan, dan mengolah data digital yang didapatkan dari data *logger*. Adapun laptop yang digunakan memiliki spesifikasi dengan RAM 4 GB, memori penyimpanan 500 GB, prosesor AMD A4 Quad Core, merek toshiba satellite C40D-A.

### 4.3.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam pengujian pembakaran *droplet* ini adalah bahan bakar bensin jenis pertalite dari Pertamina dan etanol anhidrat PA (*Pro Analys*) yang memiliki kemurnian sangat tinggi (>99,5 %). Persentase volume campuran bahan bakar bensin (%): etanol (%) yaitu: 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 0:100.

#### 4.4 Skema Instalasi Penelitian

Instalasi alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.7 di bawah ini:



Keterangan:

- |                                   |                                      |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1. <i>Laptop</i>                  | 7. <i>Handle flame ignitor cover</i> |
| 2. <i>Data logger</i>             | 8. <i>Flowmeter</i>                  |
| 3. <i>Ruang uji bakar droplet</i> | 9. <i>Kompresor</i>                  |
| 4. <i>Pembuat droplet</i>         | 10. <i>Botol bahan bakar butana</i>  |
| 5. <i>Thermocouple</i>            | 11. <i>Kamera</i>                    |
| 6. <i>Cylindrical burner</i>      | 12. <i>Tripod</i>                    |

Gambar 4.7 Skema instalasi penelitian

#### 4.5 Prosedur Pengambilan Data Penelitian

Prosedur pengambilan data penelitian terdiri atas beberapa tahap, tahapan pertama yaitu melakukan *setting* instalasi penelitian meliputi pemasangan selang kompresor dan botol gas butana pada masing-masing *input flowmeter* butana dan udara, memasang selang *output flowmeter* butana dan udara pada *Y connector* yang telah dipasang *cylindrical burner*, memasang sensor termokopel yang digunakan untuk mengukur temperatur api dengan mengatur posisinya tepat di atas kayu dengan jarak 10 mm, kedua ujungnya dihubungkan pada *input data logger* dan kabel USB4718 *data logger* dihubungkan ke laptop. Selanjutnya mengatur posisi kamera menggunakan *tripod* dengan jarak 15 cm dari ruang uji bakar, kamera pertama difokuskan pada *junction* termokopel untuk mengamati diameter *droplet* dan kamera kedua difokuskan untuk nyala api secara keseluruhan. Terakhir melakukan pengetesan instalasi penelitian dengan mengisi tabung udara kompresor, membuka *software* DAQNav-USB4718 pada *laptop* untuk mengecek kerja dari sensor termokopel, menyalakan api pada *cylindrical burner* dengan mengatur debit aliran pada *flowmeter* bahan bakar dan udara untuk mengecek nyala api yang digunakan memanaskan *droplet*.

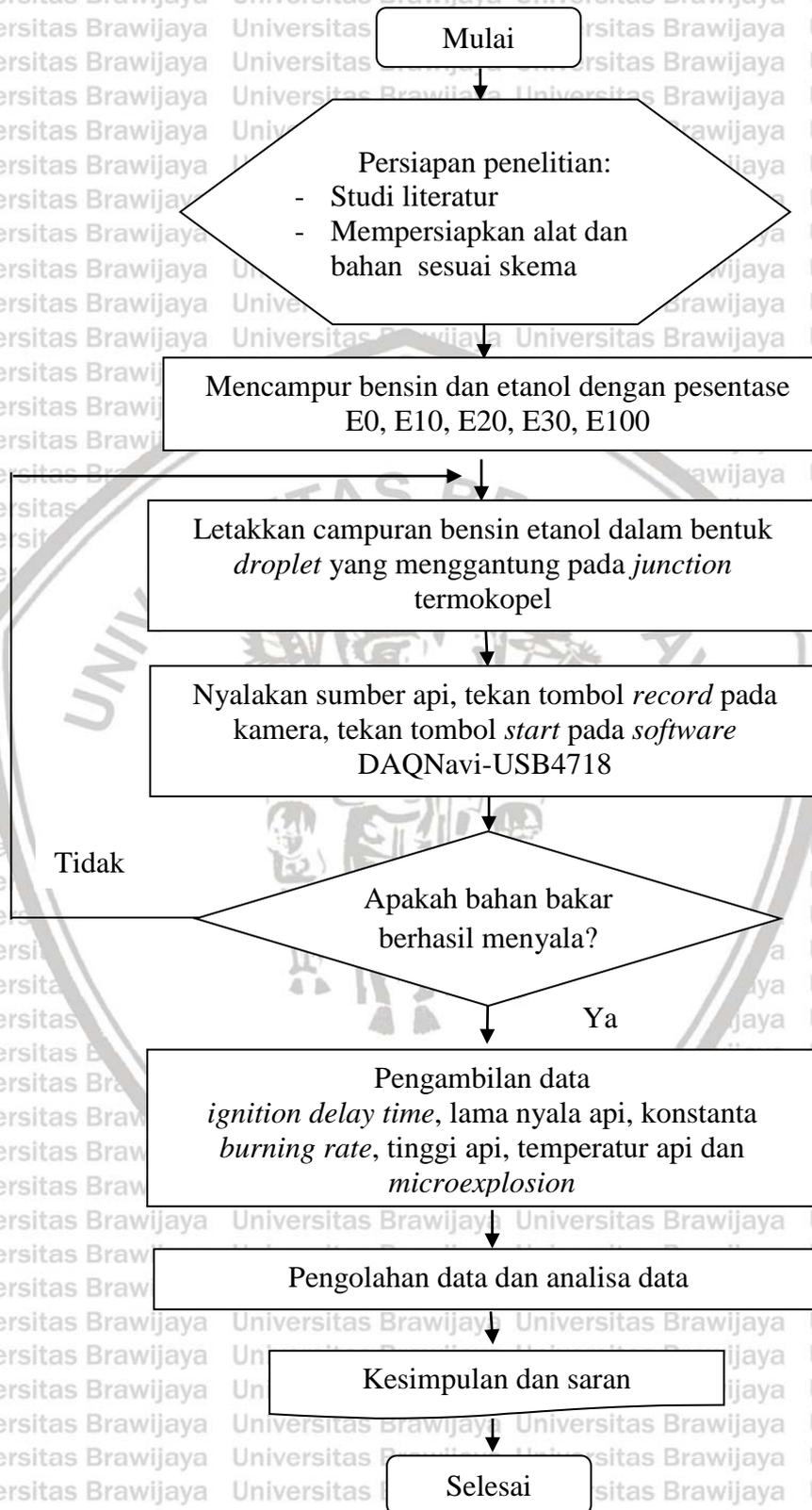
Tahapan selanjutnya adalah membuat campuran bahan bakar bensin-etanol sesuai dengan persentase campuran yang akan dilakukan pengujian. Pengambilan bahan bakar bensin dan etanol dengan menggunakan suntikan, lalu dituang pada botol plastik dengan total volume campuran 10 ml untuk setiap variasi persentase campuran, selanjutnya campuran bahan bakar diaduk sampai rata.

Tahapan terakhir yaitu pengujian pembakaran *droplet*, hal pertama yang dilakukan yaitu mengambil campuran bahan bakar dengan suntikan 1 ml lalu dimasukkan pada alat pembuat *droplet*, membuat *droplet* dengan diameter 1 mm toleransi  $\pm 0,1$  mm lalu diletakkan pada *junction* termokopel, menyalakan api dengan mengatur debit aliran pada *flowmeter* bahan bakar 10 ml/menit dan udara 400 ml/menit. Menekan tombol *record* pada kedua kamera untuk merekam proses pembakaran, dan tombol *start* pada *software* DAQNav-USB4718 bersamaan dengan menggeser *flame ignitor cover* yang ada di bawah termokopel untuk membuka nyala api dan menutup kembali nyala api setelah *droplet* menyala hingga api padam, matikan tombol *record* pada kedua kamera dan tombol *stop* pada *software* DAQNav-USB4718, lalu simpan data temperatur ke dalam format *file microsoft excel* dan mematikan nyala api yang digunakan untuk memanaskan *droplet*.

Setelah suhu titik peletakan *droplet* kembali pada kisaran 28°C-30°C, selanjutnya langkah yang sama dilakukan untuk pengambilan data masing-masing variasi bahan bakar.

#### 4.6 Diagram Alir Penelitian

Urutan langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan dapat dijabarkan ke dalam diagram alir sebagai berikut:



Gambar 4.8 Diagram alir penelitian

#### 4.7 Pengambilan Data Penelitian

Adapun pengambilan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk pengambilan data temperatur api hasil pembakaran *droplet* bahan bakar bensin-etanol dilakukan dengan cara menggunakan bantuan *software* DAQNav-USB4718 yang kedua ujung sensor termokopel dihubungkan ke data *logger* dan kabel USB data *logger* dihubungkan ke *laptop* lalu data temperatur api disimpan dalam format *file microsoft excel*.
2. Untuk pengambilan data tinggi api dan diameter *droplet* dilakukan dengan cara merubah video hasil pengambilan data menjadi gambar menggunakan *Software Adobe Premiere Pro CC*. Perbandingan dalam merubah video menjadi gambar adalah 60 *fps*, kemudian mengukur menggunakan *software imageJ*.
3. Untuk pengambilan data *ignition delay time* didapatkan dengan menghitung jumlah gambar hasil dari konversi video, dimulai pada *frame* saat *flame ignitor cover* di geser sampai satu *frame* sebelum timbulnya nyala api pada *droplet*.
4. Untuk pengambilan data konstanta *burning rate* dengan cara membandingkan diameter *droplet* terhadap lama waktu terbakarnya bahan bakar sampai padam dengan menggunakan rumus:  $d^2 = d_0^2 - Kt$ .
5. Untuk pengambilan data *microexplosion* didapatkan dengan menghitung jumlah *frame* saat terjadinya fenomena *microexplosion*.

## BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Data Hasil Penelitian

Data hasil penelitian diperoleh dari penelitian eksperimental pembakaran *droplet* campuran bensin-etanol dengan variasi persentase etanol di dalam campuran sebesar 0% (E0), 10% (E10), 20% (E20), 30% (E30), dan 100% (E100). Data yang telah diambil akan digunakan sebagai acuan untuk menganalisa pengaruh persentase campuran bensin – etanol terhadap karakteristik pembakaran *droplet*. Pengambilan data yang dilakukan antara lain adalah pengukuran diameter *droplet*, tinggi api, *ignition delay time*, lama nyala api, konstanta *burning rate*, temperatur api dan *microexplosion*.

#### 5.1.1 Pengukuran Diameter Droplet

Pembuatan diameter *droplet* sebesar 1 mm dengan toleransi  $\pm 0,1$  mm. Toleransi *droplet* diberikan karena sulit membuat *droplet* dengan volume yang sama besar karena adanya faktor penekanan, perbedaan viskositas cairan, dan kepresisian alat pembuat *droplet*. Diameter awal *droplet* dihitung saat sebelum *flame ignitor cover* untuk memanaskan *droplet* digeser yaitu pada satu *frame* saat sebelum *flame ignitor cover* mulai kelihatan bergeser hasil dari konversi format video ke gambar.

Pengukuran diameter *droplet* dengan menggunakan *Software ImageJ* seperti yang tampak pada gambar 5.1. Hal pertama yang dilakukan yaitu dengan meletakkan gambar *droplet* yang akan diukur diameternya pada *software ImageJ*, lalu melakukan pengukuran luas lingkaran acuan, melakukan pengaturan skala dari lingkaran acuan (1,5 mm), mengukur luas lingkaran *droplet* dan terakhir membandingkan luas lingkaran acuan dengan *droplet* untuk mendapatkan diameter *droplet*. Hasil pengukuran diameter *droplet* untuk semua variasi campuran bahan bakar hasilnya dapat dilihat pada tabel 5.1

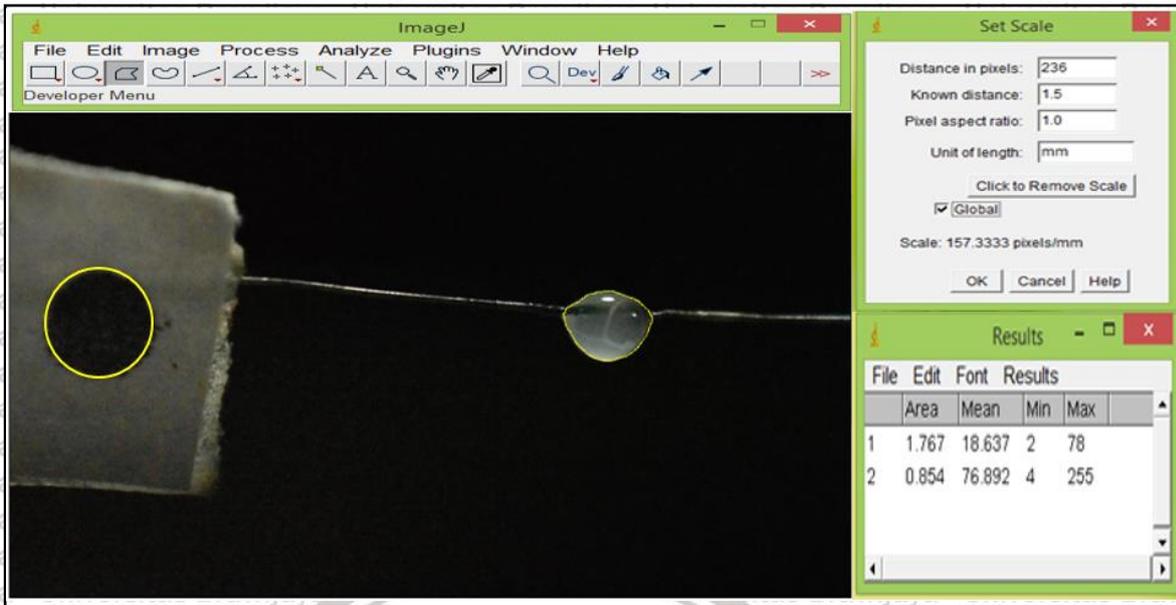
Contoh perhitungan pada diameter awal *droplet* E0:

$$L_1 / L_2 = \frac{1}{4} \pi d_1^2 / \frac{1}{4} \pi d_2^2$$

$$1,767 / 0,854 = (1,5 \text{ mm})^2 / d_2^2$$

$$d_2 = \sqrt{1,921 \text{ mm}^2 / 1,767}$$

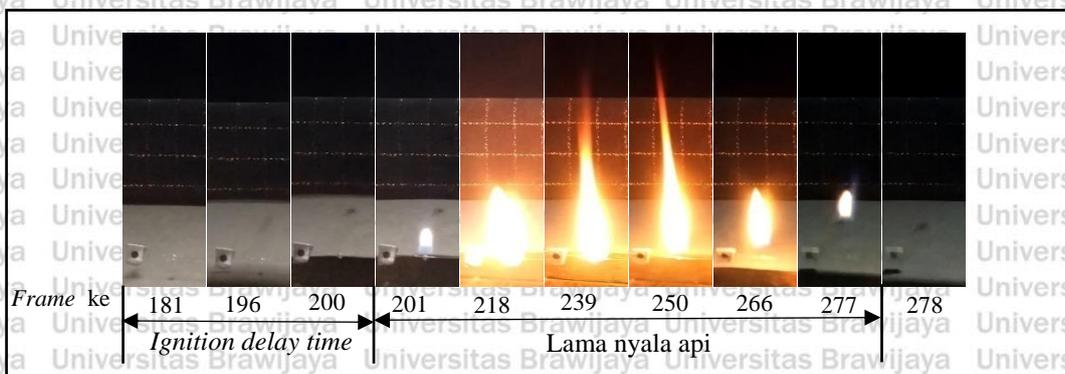
$$= 1,042 \text{ mm}$$



Gambar 5.1 Mengukur diameter *droplet*

### 5.1.2 Pengukuran *Ignition Delay Time* dan Lama Nyala Api

Pada proses pembakaran *droplet* data yang di ambil berupa video dengan menggunakan kamera. Mode video yang dipakai adalah 60 fps (*frame per sekon*) yang artinya akan menghasilkan 60 gambar dalam 1 detik durasi video. Dalam pengukuran *ignition delay time* dan lama nyala api menggunakan *software Adobe Premiere Pro* untuk merubah video menjadi gambar. Untuk pengambilan data dari video yang berdurasi 5,75 detik dirubah dalam bentuk gambar, sehingga menghasilkan 345 gambar (*frame*). Hal ini dilakukan untuk memudahkan pengukuran *ignition delay time* dan lama nyala api. Pengukuran *ignition delay time* dihitung dari banyaknya *frame* dimulai saat *flame ignitor cover* yang menutupi api untuk memanaskan *droplet* digeser hingga tepat satu *frame* sebelum terjadinya nyala api pada *droplet*. Sedangkan untuk pengukuran lama nyala api dihitung dari banyaknya *frame* pada saat mulai terjadinya nyala api sampai tepat satu *frame* sebelum api mulai padam. Pengukuran *ignition delay time* dan lama nyala api seperti pada gambar 5.2.



Gambar 5.2 Pengukuran *ignition delay time* dan lama nyala api

Diketahui jumlah gambar dari *frame* ke 181 sampai dengan *frame* ke 200 = 20 gambar

$$\text{Ignition delay time} = \sum \text{gambar/fps video}$$

$$= 20/60$$

$$= 0,333 \text{ s}$$

Diketahui jumlah gambar dari *frame* ke 201 sampai dengan *frame* ke 277 = 77 gambar

$$\text{Lama nyala api} = \sum \text{gambar/fps video}$$

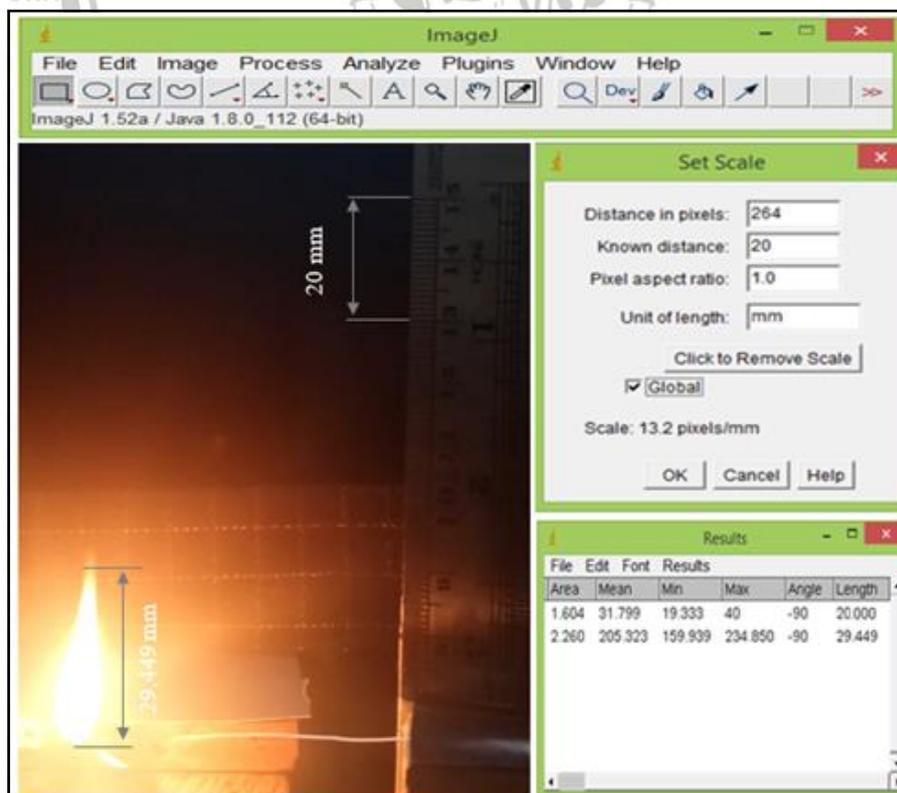
$$= 77/60$$

$$= 1,283 \text{ s}$$

Dari perhitungan di atas maka diketahui nilai *ignition delay time* pada pembakaran *droplet* E30 sebesar 0,333 s dan lama nyala api sebesar 1,283 s. Pengukuran nilai *ignition delay time* dan lama nyala api dilakukan untuk semua variasi campuran bahan bakar yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 5.1

### 5.1.3 Pengukuran Tinggi Api

Pengukuran tinggi api dengan menggunakan *software Image J*. Cara-cara pengukuran sama halnya dengan pengukuran diameter *droplet* hanya yang membedakan skala acuan yang digunakan adalah 20 mm seperti contoh yang tampak pada gambar 5.3.



Gambar 5.3 Pengukuran tinggi api

Dari gambar tersebut setelah dilakukan pengukuran diketahui tinggi api sebesar 29,449 mm. Selanjutnya pengukuran tinggi api dilakukan untuk semua variasi campuran bahan bakar yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 5.1

### 5.1.5 Perhitungan Konstanta *Burning Rate*

Setelah diketahui ukuran diameter *droplet* dan lama nyala api untuk semua variasi campuran bahan bakar, maka nilai dari konstanta *burning rate* dapat dicari melalui persamaan di bawah ini:

$$d^2 = d_0^2 - Kt$$

Maka,

$$K = \frac{d_0^2 - d^2}{t}$$

$$\begin{aligned} \text{Konstanta } \textit{burning rate} &= \frac{(\text{Diameter awal } \textit{droplet})^2 - (\text{Diameter akhir } \textit{droplet})^2}{\text{Waktu}} \\ &= \frac{(1,024\text{mm})^2 - (0\text{ mm})^2}{1,283\text{ s}} \\ &= \frac{1,048\text{mm}^2}{1,283\text{ s}} \\ &= 0,817\text{ mm}^2/\text{s} \end{aligned}$$

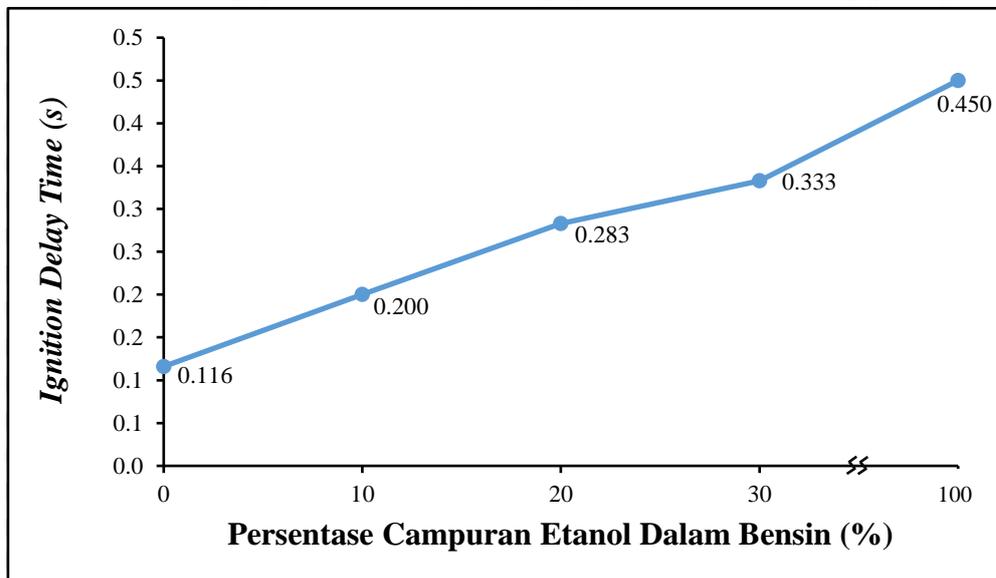
Dari perhitungan tersebut maka di ketahui nilai konstanta *burning rate* campuran bahan bakar E30 sebesar 0,817 mm<sup>2</sup>/s. Selanjutnya perhitungan konstanta *burning rate* dilakukan untuk semua variasi campuran bahan bakar yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Data hasil pengujian pembakaran *droplet* pada berbagai persentase campuran bahan bakar

| N <sup>o</sup> | Persentase Campuran Etanol | Diameter Droplet (mm) | Ignition Delay (s) | Lama nyala api (s) | K. Burning Rate (mm <sup>2</sup> /s) | Tinggi api mak. (mm) | T mak. (°C) |
|----------------|----------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------------|----------------------|-------------|
| 1              | E0                         | 1,042                 | 0,116              | 1,300              | 0,835                                | 37,349               | 445,701     |
| 2              | E10                        | 1,005                 | 0,200              | 1,183              | 0,854                                | 43,855               | 433,642     |
| 3              | E20                        | 1,008                 | 0,283              | 1,033              | 0,984                                | 64,578               | 425,318     |
| 4              | E30                        | 1,024                 | 0,333              | 1,283              | 0,817                                | 35,281               | 392,771     |
| 5              | E100                       | 1,026                 | 0,450              | 1,600              | 0,658                                | 16,743               | 294,117     |

## 5.2 Pembahasan

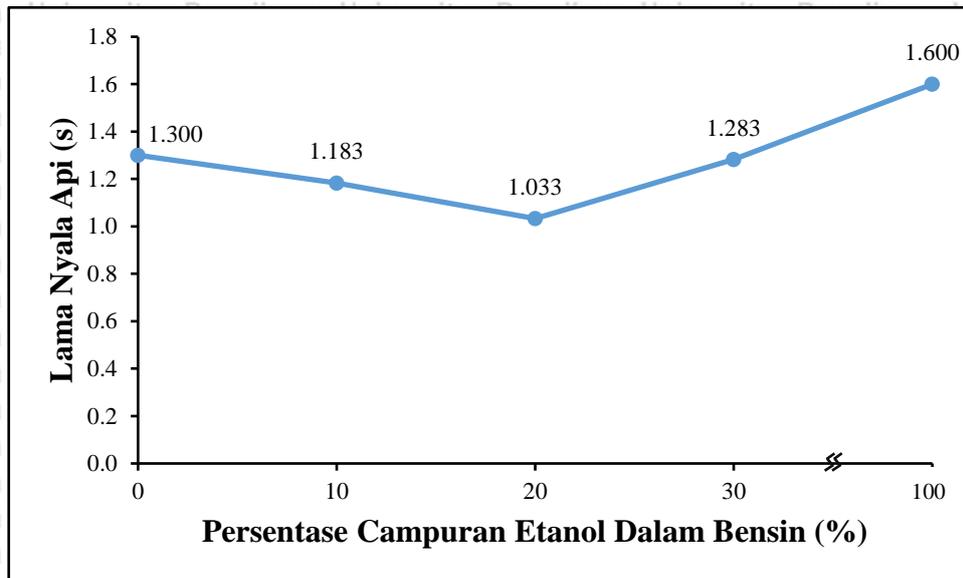
### 5.2.1 Pengaruh Persentase Campuran Bensin-Etanol Terhadap *Ignition Delay Time*



Gambar 5.4 Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap *ignition delay time*

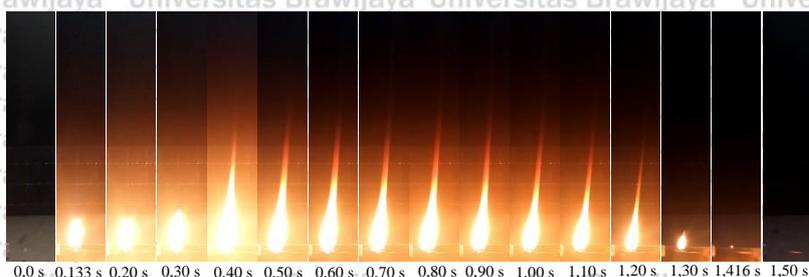
Pada gambar 5.4 menunjukkan grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap *ignition delay time*. Nilai *ignition delay time* terendah ada pada E0 yaitu selama 0,116 detik dan nilai *ignition delay time* tertinggi ada pada E100 yaitu selama 0,450 detik. Nilai *ignition delay time* mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase campuran etanol terhadap bensin. Hal ini disebabkan karena etanol memiliki kalor laten penguapan yang 3 kali lebih tinggi yaitu sebesar 918,42 kJ/kg dibandingkan bensin yaitu sebesar 307,3 kJ/kg (Qian *et al.* 2019) yang mengindikasikan membutuhkan lebih banyak energi untuk berubah fase dari cair menjadi gas pada temperatur yang sama. Selain itu etanol memiliki nilai *flash point* yang lebih tinggi yaitu sebesar 13°C dibandingkan bensin yaitu sebesar -40°C (Yusuf *et al.* 2019). *Flash point* sendiri merupakan suhu terendah dimana bahan bakar akan mengeluarkan uap dan membentuk campuran dengan udara yang dapat terbakar. Sehingga dapat dikatakan bahwa, semakin tinggi nilai *flash point* suatu bahan bakar maka waktu penyalaan bahan bakar tersebut semakin lama karena kecepatan penguapannya (*volatility*) yang lambat. Disisi lain etanol memiliki temperatur *autoignition* lebih tinggi dibandingkan dengan bensin, yaitu sekitar 423°C sedangkan bensin sekitar 257°C (Capatano *et al.* 2016). Semakin kecil nilai temperatur *autoignition* suatu bahan bakar maka akan semakin mudah terbakar secara spontan.

### 5.2.2 Pengaruh Persentase Campuran Bensin-Etanol Terhadap Lama Nyala Api

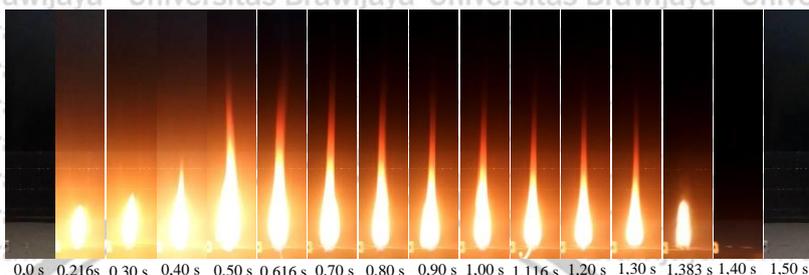


Gambar 5.5 Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap lama nyala api

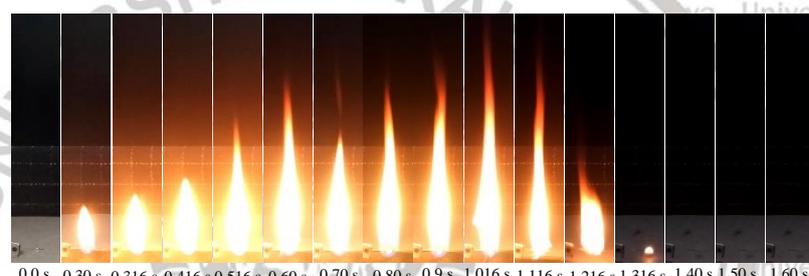
Pada gambar 5.5 menunjukkan grafik pengaruh persentase campuran etanol-bensin terhadap lama nyala api. Lama nyala api mengalami penurunan sampai pada persentase etanol 20% (E20) dalam bensin dan kemudian mengalami peningkatan lama nyala api sampai pada persentase etanol 30% (E30) dan 100% (E100). Hal ini terjadi karena pada persentase campuran etanol sampai 20% (E20) dalam bensin intensitas terjadinya *microexplosion* sering dan mengalami penurunan intensitas terjadinya *microexplosion* sampai pada persentase etanol 30% (E30). *Microexplosion* menyebabkan *droplet* bahan bakar pecah menjadi butiran-butiran kecil yang membantu mempercepat proses penguapan dan pencampuran bahan bakar dengan udara sehingga reaksi pembakaran berlangsung semakin cepat (Shingo *et al.* 2014). Fenomena *microexplosion* dibahas pada sub bab berikutnya. Lama nyala api dan *ignition delay time* yang tinggi pada E100 (etanol murni) mengindikasikan proses pembakaran yang lebih lambat mengakibatkan volume ruang bakar pada akhir pembakaran meningkat sehingga sisa kalor akan terbawa bersama gas buang yang berdampak akan menghasilkan torsi dan daya yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar bensin. Oleh karena itu, untuk mendapatkan torsi dan daya yang maksimal, sudut pengapian perlu dimajukan. Hal ini sesuai dengan penelitian Purwa (2018) bahwa pengujian bahan bakar etanol pada mesin bensin dengan sudut pengapian 28° BTDC menghasilkan torsi dan daya efektif yang lebih tinggi di bandingkan dengan sudut pengapian 26° dan 24° BTDC.



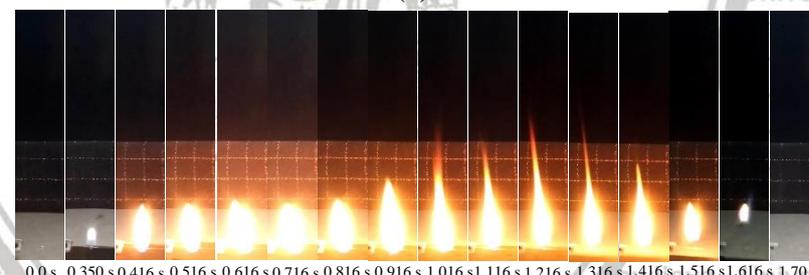
(a)



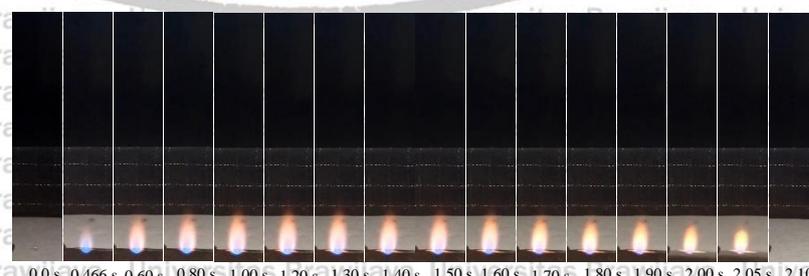
(b)



(c)



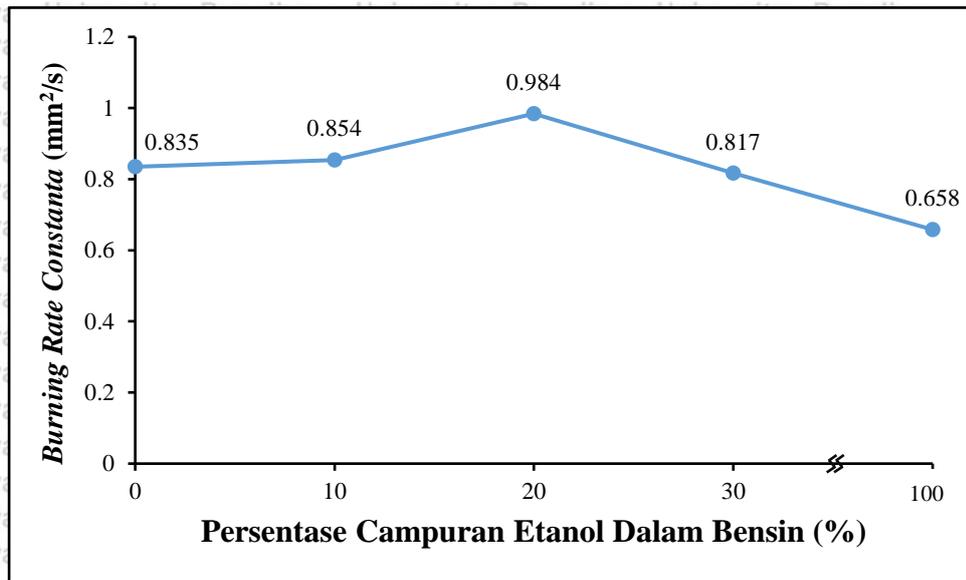
(d)



(e)

Gambar 5.6 Visualisasi api pembakaran *droplet* campuran bahan bakar bensin-etanol: (a) E0; (b) E10; (c) E20; (d) E30; (e) E100

### 5.2.3 Pengaruh Persentase Campuran Bensin-Etanol Terhadap Konstanta *Burning Rate*

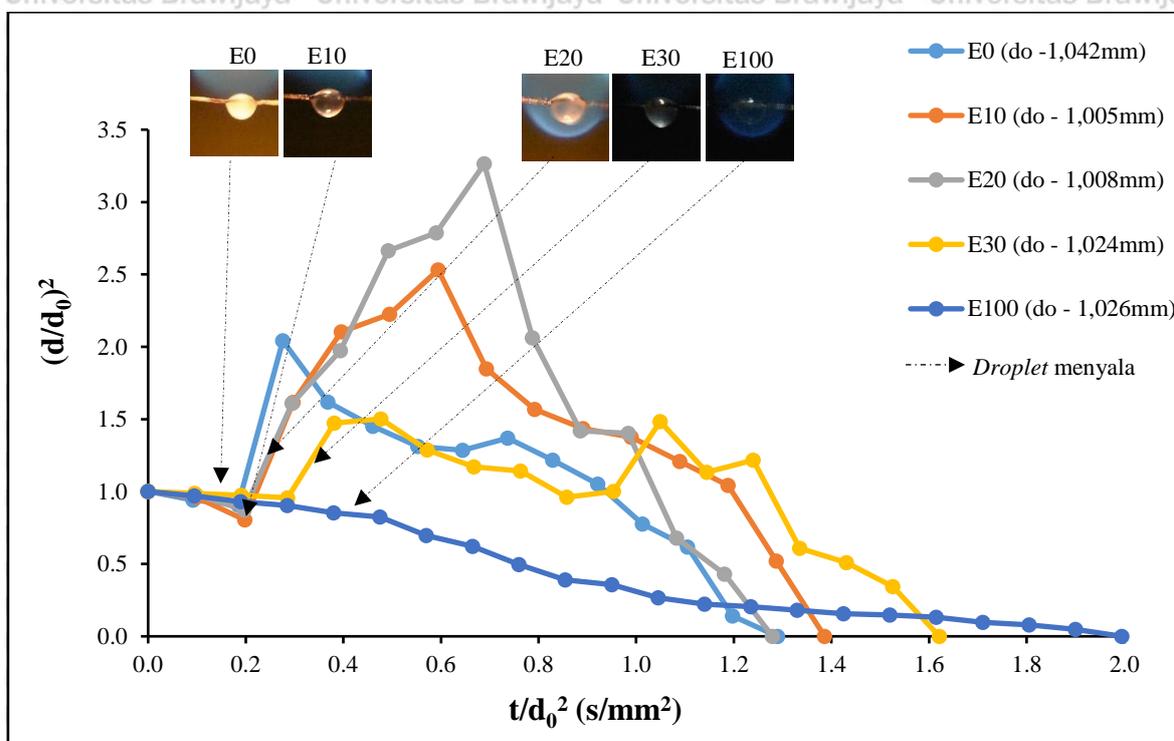


Gambar 5.7 Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap konstanta *burning rate*

Pada gambar 5.7 menunjukkan grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap konstanta *burning rate*, dimana nilai konstanta *burning rate* tertinggi pada E20 dengan nilai 0,984 mm<sup>2</sup>/s sedangkan yang terendah pada E100 yaitu dengan nilai 0,658 mm<sup>2</sup>/s. Konstanta *burning rate* pada E10 dan E20 mengalami peningkatan, hal ini dikarenakan etanol memiliki kandungan oksigen 34% dari beratnya (Shahir *et al.* 2014). Kandungan oksigen pada etanol dapat mempercepat reaksi pembakaran, karena saat bahan bakar dipanaskan atom oksigen pada etanol akan bereaksi terlebih dahulu dengan atom C (karbon) dan atom H (hidrogen) pada etanol, sehingga menyebabkan reaksi pembakarannya semakin cepat dan nilai konstanta *burning rate* semakin tinggi. Namun pada E30 dan E100 mengalami penurunan nilai konstanta *burning rate* dikarenakan kalor laten penguapan yang tinggi menyebabkan kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar lambat sehingga kecepatan pembakaran rendah. Hal ini sesuai dengan penelitian Iodece *et al.* (2016) bahwa campuran etanol dengan persentase 30% (G30) dalam bensin menurunkan nilai kalor dan meningkatkan kalor laten penguapan bahan bakar sehingga menghasilkan temperatur pembakaran dan kecepatan pembakaran yang rendah. Pada waktu pembakaran yang sama di dalam mesin bensin, tingginya nilai konstanta *burning rate* pada bahan bakar E20 akan menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna sehingga berdampak pada pengurangan emisi CO dan HC. Selain itu memungkinkan semakin banyak *droplet* bahan bakar yang

terbakar sehingga efisiensi pembakaran meningkat yang akan berdampak pada peningkatan torsi dan daya pada mesin bensin.

#### 5.2.4 Pengaruh Persentase Campuran Bensin-Etanol Terhadap Diameter *Droplet*



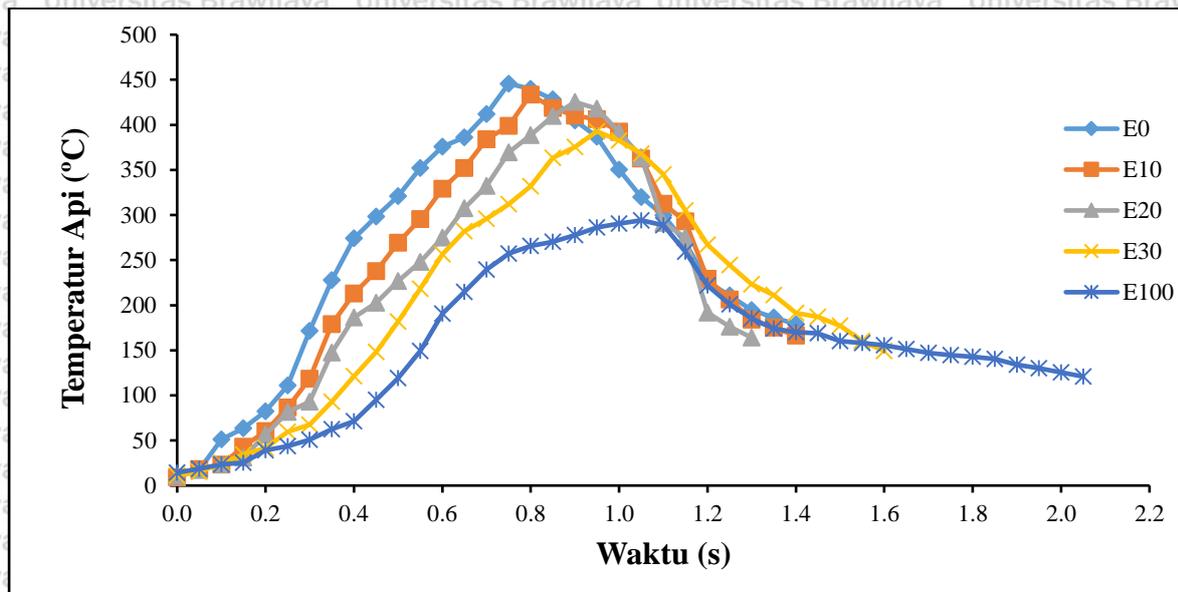
Gambar 5.8 Grafik pengaruh persentase campuran bahan bakar bensin-etanol terhadap perubahan diameter *droplet*

Perubahan diameter *droplet* dihitung dari awal *flame ignitor cover* digeser sampai kembali matinya api pada proses pembakaran *droplet*. Pada Gambar 5.8 dapat dilihat bahwa E100 mengalami perubahan diameter *droplet* sesuai  $d^2$ -law yang nilainya terus turun tanpa adanya fluktuasi. Nilai perubahan diameternya cenderung stabil dari awal *flame ignitor cover* digeser sampai mulai timbulnya api dan setelah timbul api terjadi perubahan diameter *droplet* yang lebih cepat. Pada persentase campuran E0 nilai perubahan diameternya tidak stabil. Hal ini dikarenakan komponen penyusun bensin terdiri dari hidrokarbon rantai lurus mulai dari C<sub>4</sub> sampai dengan C<sub>12</sub> yang masing-masing memiliki perbedaan temperatur titik didih, penguapan dan penyalan sehingga menyebabkan *droplet* mengembang dan mengecil.

Pada campuran E10 E20 dan E30 terjadi fluktuasi yang ekstrem pada ukuran diameter *droplet* setelah terbakar. Hal ini dikarenakan adanya kandungan etanol menyebabkan *droplet* mengembang dan mengecil akibat perbedaan temperatur titik didih, penguapan, dan

penyalaan *droplet* bahan bakar. Setelah *droplet* terbakar terjadi pula *microexplosion* karena perbedaan temperatur titik didih dari etanol dan bensin yang dicampurkan pada E10 E20 dan E30 sehingga terjadi perubahan ukuran diameter *droplet* yang ekstrem.

### 5.2.5 Pengaruh Persentase Campuran Bensin-Etanol Terhadap Temperatur Api

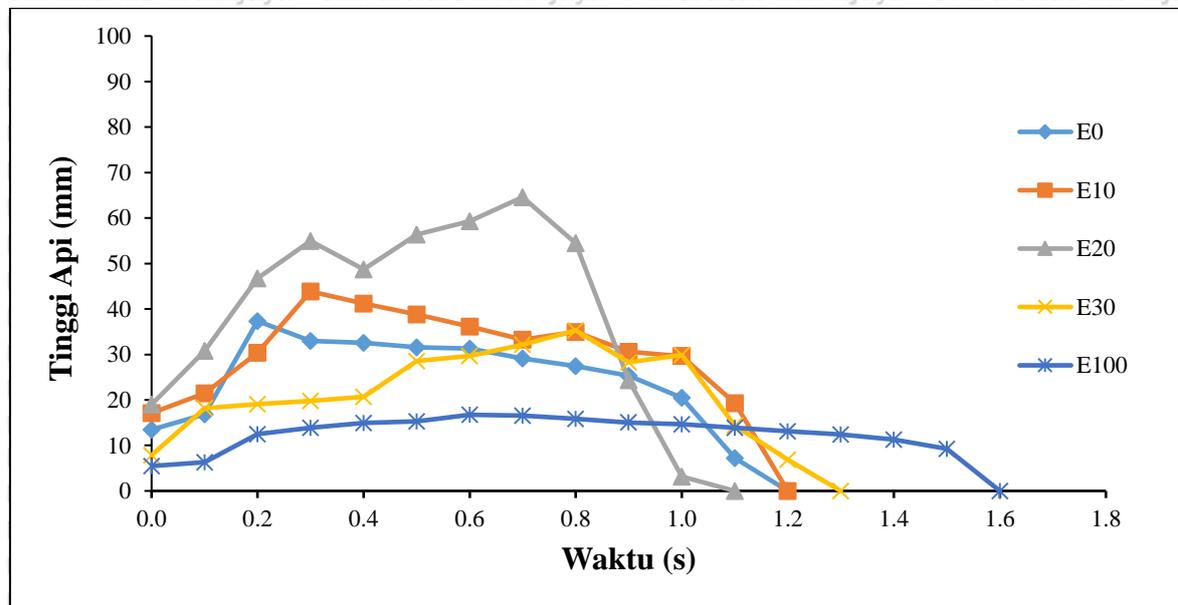


Gambar 5.9 Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap temperatur api

Pada gambar 5.9 menunjukkan E0 mempunyai nilai maksimum temperatur api tertinggi dibandingkan dengan yang lain, yaitu sebesar 445,701°C sedangkan nilai maksimum temperatur api terendah pada E100 yaitu sebesar 294,117°C. Semakin tinggi persentase campuran etanol dalam bensin menyebabkan penurunan nilai maksimum temperatur api. Hal ini disebabkan karena laju pelepasan panas yang lebih rendah dari campuran bahan bakar, terkait dengan nilai kalor etanol yang lebih rendah dan konstanta *burning rate* bahan bakar yang tidak berbeda secara signifikan. Nilai kalor etanol yaitu sebesar 26.900 kJ/kg sedangkan bensin yaitu sebesar 44.000 kJ/kg (Raja *et al.* 2015). Sehingga ketika etanol dicampurkan ke dalam bensin maka nilai kalor yang di miliki oleh campurannya akan berada diantara nilai kalor bensin dan nilai kalor etanol. Nilai kalor suatu bahan bakar menunjukkan jumlah panas/kalori yang dibebaskan dari proses pembakaran dalam satuan volume atau massa. Semakin rendahnya nilai maksimum temperatur api yang dihasilkan seiring dengan peningkatan kadar etanol dalam bensin berdampak pada pengurangan emisi NO<sub>x</sub> hasil

pembakaran pada mesin bensin. Hal ini disebabkan karena emisi  $\text{NO}_x$  akan terbentuk pada proses pembakaran dengan temperatur yang cukup tinggi.

### 5.2.6 Pengaruh Persentase Campuran Bensin-Etanol Terhadap Tinggi Api



Gambar 5.10 Grafik pengaruh persentase campuran bahan bakar bensin-etanol terhadap tinggi api

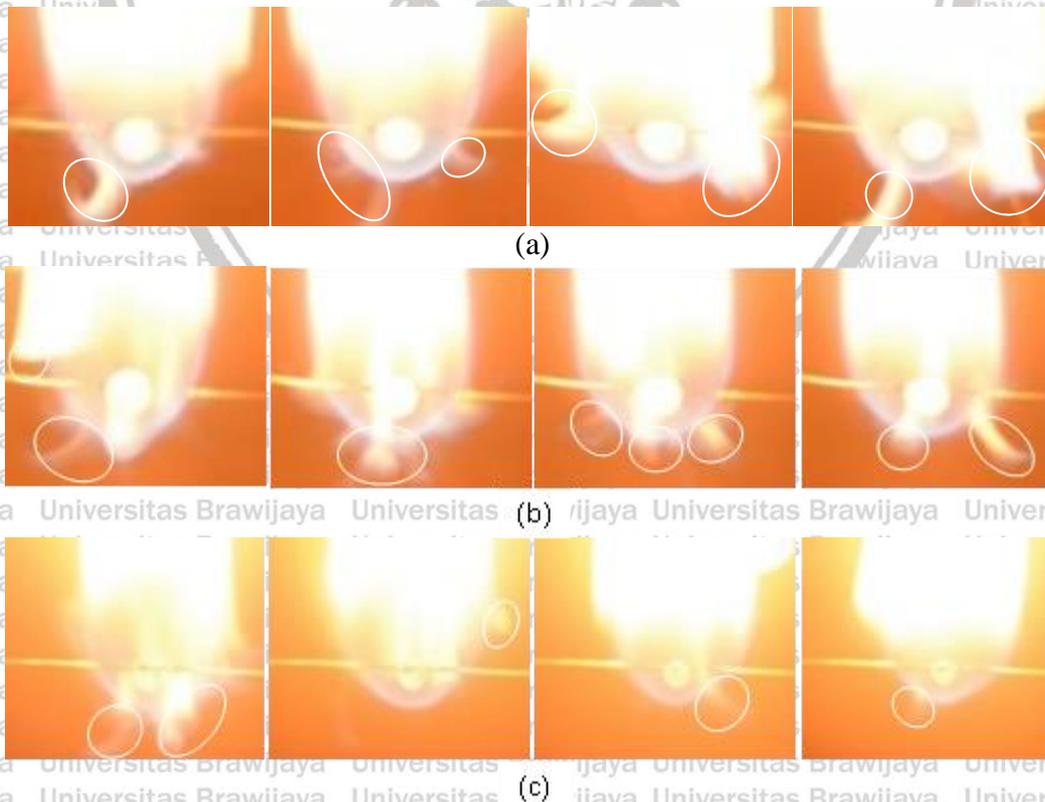
Tinggi api di hitung dari titik penyalan *droplet* terjadi sampai kembali matinya api pada reaksi pembakaran *droplet*. Dari gambar 5.10 dapat dilihat bahwa E20 menunjukkan tinggi api maksimum yang paling tinggi diantara semua variasi bahan bakar dengan nilai 64,578 mm, sedangkan tinggi api maksimum yang paling rendah pada E100 dengan nilai 16,743 mm. Tinggi nyala api dipengaruhi oleh kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar, semakin cepat bahan bakar menguap dan berdifusi ke udara maka nyala api yang dihasilkan akan semakin tinggi.

Pada E100 menunjukkan perubahan tinggi api yang paling stabil karena kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar etanol yang paling lambat diantara campuran bahan bakar lainnya, sehingga menghasilkan tinggi api maksimum yang paling rendah. Pada E0 dan E10 nilai maksimum tinggi api terjadi setelah awal pembakaran *droplet*, hal ini disebabkan karena kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar yang cepat. Namun pada E20 dan E30 nilai maksimum tinggi api terjadi mendekati akhir pembakaran *droplet*, hal ini dapat terjadi karena pada awal pembakaran *droplet* beberapa kandungan etanol dalam campuran bahan

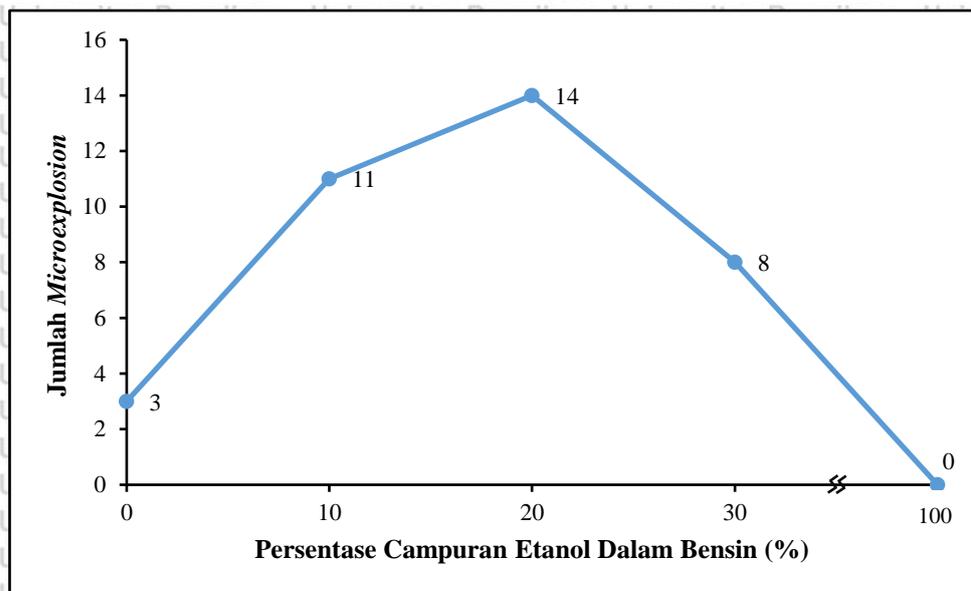
bakar terbakar lebih dahulu setelah itu kandungan bensin baru terbakar yang dimana memiliki kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar yang cepat sehingga tinggi api maksimum terjadi mendekati akhir pembakaran *droplet*. Tingginya nilai api maksimum pada E20 berdampak pada kecepatan rambat api akan semakin besar, karena walaupun jarak antara *droplet* besar di ruang bakar tidak memerlukan waktu yang lama untuk ikut terbakar.

### 5.2.7 Pengaruh Persentase Campuran Bensin-Etanol Terhadap Jumlah *Microexplosion*

*Microexplosion* adalah suatu fenomena ledakan kecil yang terjadi pada pembakaran *droplet* yang terdiri dari dua jenis cairan atau lebih. Hal ini terjadi karena perbedaan titik didih masing-masing zat penyusun bahan bakar cair. Selain itu terjadinya *microexplosion* bisa diakibatkan oleh homogenitas campuran bahan bakar cair dan adanya kandungan air pada bahan bakar. Ledakan tersebut berpotensi meningkatkan *engine performance* karena merupakan proses atomisasi tingkat dua (*secondary atomization*) bahan bakar (Zeng dan Lee, 2007). Terjadinya *microexplosion* dalam suatu pembakaran mengakibatkan *droplet* pecah menjadi partikel-partikel kecil yang membantu mempercepat proses penguapan, pencampuran bahan bakar dan udara sehingga reaksi pembakaran akan berlangsung semakin cepat. Pada pembakaran *droplet* campuran bahan bakar bensin-etanol terjadi fenomena *microexplosion* pada E0, E10, E20 dan E30.



Gambar 5.11 Fenomena *microexplosion* yang terjadi pada (a) E10; (b) E20; dan (c) E30



Gambar 5.12 Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap jumlah *microexplosion*

Dari gambar 5.12 terlihat bahwa pencampuran etanol dalam bensin menyebabkan sering terjadinya fenomena *microexplosion* pada pembakaran *droplet*. Jumlah *microexplosion* yang paling sering terjadi pada E20, hal ini disebabkan karena perbedaan titik didih komposisi penyusun bahan bakar sehingga menyebabkan pada E20 memiliki konstanta *burning rate* tertinggi dan nyala api yang paling singkat. Pada bahan bakar bensin (E0) terjadi fenomena *microexplosion* yang begitu kecil dan tidak sering terjadi, hal ini dikarenakan komposisi penyusun bensin terdiri dari campuran hidrokarbon rantai lurus mulai dari C<sub>4</sub> sampai dengan C<sub>12</sub> yang masing-masing memiliki titik didih yang berbeda. Sedangkan pada bahan bakar etanol (E100) tidak terjadi fenomena *microexplosion* hal ini disebabkan karena etanol yang digunakan dalam pengujian pembakaran *droplet* yaitu etanol anhidrat yang memiliki kemurnian sangat tinggi sehingga tidak ada perbedaan temperatur titik didih pada bahan bakar yang berdampak pada rendahnya konstanta *burning rate* dan menghasilkan nyala api yang paling lama diantara semua variasi bahan bakar.

Pada pembakaran *droplet* bensin-etanol terjadi hubungan yang tidak linear antara jumlah terjadinya *microexplosion* terhadap lama nyala api, hal ini bisa diakibatkan karena *droplet* sekunder yang dihasilkan dari terjadinya fenomena *microexplosion* memiliki ukuran yang berbeda-beda. Semakin kecil ukuran *droplet* sekunder yang dihasilkan maka semakin cepat *droplet* mengalami penguapan dan terbakar yang secara signifikan akan mempengaruhi lama nyala api.

## BAB VI PENUTUP

### 6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai *ignition delay time* mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase campuran etanol terhadap bensin.
2. Lama nyala api dan konstanta *burning rate* dipengaruhi oleh kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar serta kecepatan reaksi terhadap udara (oksigen).
3. Semakin tinggi persentase campuran etanol terhadap bensin maka temperatur api yang dihasilkan semakin rendah.
4. Perubahan diameter *droplet* dipengaruhi oleh komponen penyusun bahan bakar, yang mengakibatkan *droplet* mengembang dan mengecil akibat dari perbedaan temperatur titik didih, penguapan dan penyalaan.
5. Tinggi api dipengaruhi oleh kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar.
6. Terjadinya fenomena *microexplosion* akibat perbedaan titik didih komponen penyusun bahan bakar.

### 6.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran untuk dapat mengembangkan penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Perlu dilakukan penelitian dengan ukuran diameter *droplet* yang lebih kecil dari 1 mm dan menggunakan etanol hidrat (mengandung air).
2. Untuk penelitian selanjutnya perlu menambahkan pengaruh tekanan yang berbeda-beda pada ruang uji bakar *droplet*.
3. Gunakan alat-alat penelitian dengan tingkat ketelitian yang tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anand, T.N.C., Mohan, A.M., Revikkrishna, R.V. 2012. *Spray characterization of gasoline-ethanol blends from a multi-hole port fuel injector*. Science Direct Journal Fuel Vol. 102 613–623.
- Badra, J., Alramadan, A.S., Sarathy, S.M., Yan, J. 2017. *Optimization of the octane response of gasoline/ethanol blends*. Science Direct Journal Appl Energy Vol. 203:778–93.
- Barakat, Y., Awad, E.N., Ibrahim, V. 2016. *Fuel consumption of gasoline ethanol blends at different engine rotational speeds*. Egyptian Journal of Petroleum Vol. 25, 309-315.
- Bindar, Y. 2015. *Tinjauan Penggunaan Air Teremulsi Dalam Minyak Bakar Sebagai Bahan Bakar Industri dan Mesin Diesel: Apakah Menguntungkan atau Merugikan dan Apa Permasalahan Standarisasinya?*. Bandung: Kelompok Keahlian Energi dan Sistem Pemroses Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung.
- Capatano, F., Sementa, P., Vagliocce, B.M. 2016. *Air-fuel mixing and combustion behavior of gasoline-ethanol blends in a GDI wall-guided turbocharged multi-cylinder optical engine*. Science Direct Journal Renewable Energy Vol.96 319-332.
- Chen, G. B., Li, Y. H., Lan, C. H., Lin, H. T. & Chao, Y. C. 2017. *Micro-explosion and Burning Characteristics of a Single Droplet of Pyrolytic Oil from Castor Seeds*. Science Direct Journal Applied Thermal Engineering Vol. 114 1053-1063.
- Chen, R. & Nishida, K. 2014. *Spray evaporation of ethanol-gasoline-like blend and combustion of ethanol-gasoline blend injected by hole-type nozzle for direct-injection spark ignition engines*. Science Direct Journal Fuel. 263-273.
- Deng, X., Chen, Z., Wang, Z., Zhen, H., Xie, R. 2018. *Exhaust noise, performance and emission characteristics of spark ignition engine fuelled with pure gasoline and hydrous ethanol gasoline blends*. Science Direct Journal Case Studies in Thermal Engineering Vol. 12 55-63.
- Gong, Y., Grand, D.J.W., Brittain, H.G. 2007. *Principles of Solubility*. New York: Springer Science+Business Media, LLC.
- Hara, T. & Tanoue, K. 2006. *Laminar flame speed of ethanol, n-heptane, iso-octane air mixtures*. SAE paper no. 2006-05-0409; 2006.
- Hermansson, E., Schuster, E., Lindgren, L., Altskar, A., Strom, A. 2016. *Impact of solvent quality on the network strength and structure of algenite gels*. Science Direct Journal Carbohydrate Polymers Vol. 144 289-296.
- Hiskia, A. 1999. *Kimia Fisika*. Jakarta: Depdikbud.
- Honda. 2016. *Tabel bahan bakar ideal motor honda sesuai rasio kompresi*. <http://hondacengkareng.com>. Diakses pada tanggal 26 maret 2019.
- Huang, Y., G. Hong. 2016. *Investigation of the effect of heated ethanol fuel on combustion and emissions of an ethanol direct injection plus gasoline port injection (EDI+GPI)*

engine. Science Direct Journal Energy Conversion and Management. Vol. 123 338–347.

Iodice, P., Langella, G., Amoresano, A. 2018. *Ethanol in gasoline fuel blends: effect on fuel consumption and engine out emissions of SI engines in cold operating conditions.* Science Direct Journal Applied Thermal. Engineering. 130 1081–1089.

Iodice, P., Senatore, A., Langella, G., Amoresano, A. 2016. *Effect of ethanol–gasoline blends on CO and HC emissions in last generation SI engines within the cold-start transient: An experimental investigation.* Science Direct Journal Applied Energy. 182-190.

Jeuland, N., X. Montagne, X. Gautrot. 2004. *Potentiality of Etanol As Fuel For Dedicated Engine.* Oil and Gas Science and Technology Journal. Vol. 59. No.6. pp.559-570.

Kuo, K. K. 2005. *Principle of combustion.* New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Law, C.K. 2006. *Combustion physics.* New York: Cambridge University Press.

Limayem, A., Ricke, S.C., 2012. *Lignocellulosic biomass for bioethanol production: current perspectives, potential issues and future prospects.* Science Direct Journal Prog. Energy Comb. 38 (4), 449–467.

Mikami, M., Motumatsu, N., Nagata, K., Yoshida, Y., Seo, T. 2018. *Flame spread between two droplets of different diameter in microgravity.* Science Direct Journal Combustion and Flame Vol 193 76-82.

Prayoga, N., & Sudarmanta, B. 2015. *Studi eksperimental pengaruh variasi temperatur bahan bakar terhadap penyalaan awal dan unjuk kerja serta emisi motor honda cb 150r berbahan bakar bioetanol E100.* Jurnal teknik ITS Vol. 4, 2301-9271.

Purwa, Iga. 2018. *Pengaruh sudut pengapian terhadap unjuk kerja motor 6 langkah berbahan bakar etanol.* Skripsi. Malang : Universitas Brawijaya.

Qian, Y., Liu, G., Guo, J., Zhang, Y., Zhu, L., Lu, X. 2019. *Engine performance and octane on demand studies of a dual fuel spark ignition engine with ethanol/gasoline surrogates as fuel.* Science Direct Journal Energy Combustion and Management Vol 183 296-306.

Quintere, J.G. 1998. *Principle of fire behavior.* New york: Delmar.

Raja, A.S., A., Arasu, A.V., Sornakumar, T. 2015. *Effect Of Gasoline - Ethanol Blends On Performance And Emission Characteristics Of A Single Cylinder Air Cooled Motor Bike Si Engine.* Journal of Engineering Science and Technology Vol. 10 No. 12 1540 – 1552.

Rao, D.C.K., Syam, S., Karmakar, S., Joarder, R. 2017. *Experimental investigations on nucleation, bubble growth, and microexplosion characteristics during the combustion of ethanol/Jet A-1 fuel droplets.* Science Direct Journal Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 89, 284–294.

Sarathy, S.M., Kukkadapu, G., Mehl, M., Wang, W., Javed, T., Park, S., Matthew, A., Oehlschlaeger, Farooq, A., William, J.P., Sung, J.P. 2015. *Ignition of alkane-rich FACE gasoline fuels and their surrogate mixtures.* Proc. Combust Inst Vol. 35 49–57.

Shahir, S.A., et al. 2014. *Feasibility of diesel-biodiesel-ethanol/bioethanol blend as existing CI engine fuel: An assessment of properties, material compatibility, safety and combustion.* Science Direct Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 32, n. 1, pp. 379-395.

- Shields regants chemistry U12 L06. 2014. *Factors Affecting Solubility*.  
<http://www.wappingerscholls.org>. Diakses pada tanggal 20 Februari 2019.
- Shingo, J., Xia, J., Ganippa LC., Megaritis, A. 2014. *Physics of puffing and micro explosion of emulsion fuel droplets*. Phys Fluids 26. 103302-1.
- Shriner, R.L., Fuson, D.Y., Curtin, C.K.F., Herman and T.C Morili. 1980. *The Systematic Identificatin of Organic Compounds 6 Edition*. Singapore : Jhon Willey and Sons Inc.
- Singh, P.A., Ramadhas, R., Mathai, A., Sehgal. 2016. *Investigation on combustion, performance and emissions of automotive engine fueled with ethanol-blended gasoline*. SAE Int. J. Fuels Lubr. 9 215–223.
- Turns, S.R. 1996. *An Introduction to Combustion*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- U.S EIA (Energy Information Administration). 2019. *International Energy Outlook. January 2019*. [https://www.eia.gov/outlooks/steo/report/global\\_oil.php](https://www.eia.gov/outlooks/steo/report/global_oil.php). Diakses pada tanggal 4 Februari 2019.
- Wako chromatography catalog. 2019. *Miscibility of solvents chromatography 9th Edition Appendix pp.51*. [http://www.wako-chem.co.jp/english/labchem/product/analytical/chromato\\_v8/a51/index.htm](http://www.wako-chem.co.jp/english/labchem/product/analytical/chromato_v8/a51/index.htm). Diakses pada tanggal 20 Februari 2019.
- Wang, C.H, and Law C.K. 1985. *Microexplosin of fuel droplet under high pressure*. *Journal Combution and flame* Vol. 59: 53-62.
- Wardana, ING. 2008. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. Malang: PT Dinar Wijaya Brawijaya University Press.
- Wu, M. S. & Yang, S. I. 2016. *Combustion Characteristics of Multi-Component Cedar Bio-Oil / Kerosene Droplet*. Science Direct Journal Energy Vol. 113 788–795.
- Yang, S.I. & Wu, M. S. 2017. *The droplet Combustion and thermal characteristics of pinewood bio-oil from slow pyrolysis*. Science Direct Journal Energy Vol. 141 2377–2386.
- Yuksel, F., Yuksel, B. 2004. *The use of ethanol-gasoline blend as a fuel in an Si engine*. Science Direct Journal Renew Energy Vol. 29 no. 11 81–91.
- Yusuf, A.A., Inambao F.L. 2019. *Bioethanol production from different Matooke peels species: A surprising source for alternative fuel*. Science Direct Journal Case Studies in Thermal Engineering Vol 13 100357.
- Zeng, Y. & Lee, C.F. 2007. *Modelling of microexplosion for multicomponent droplets*. Urbana : University of Illinois.

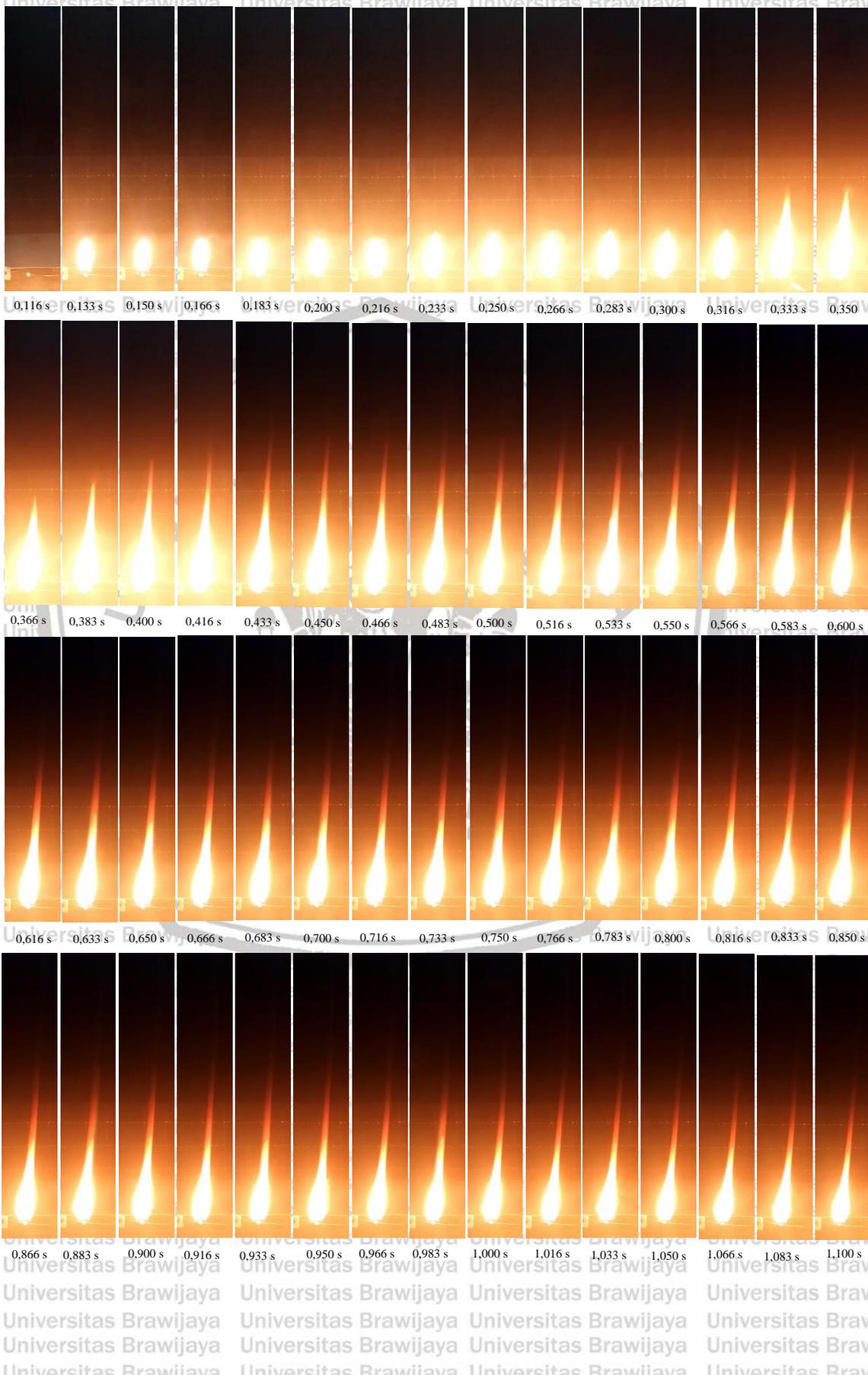


# LAMPIRAN

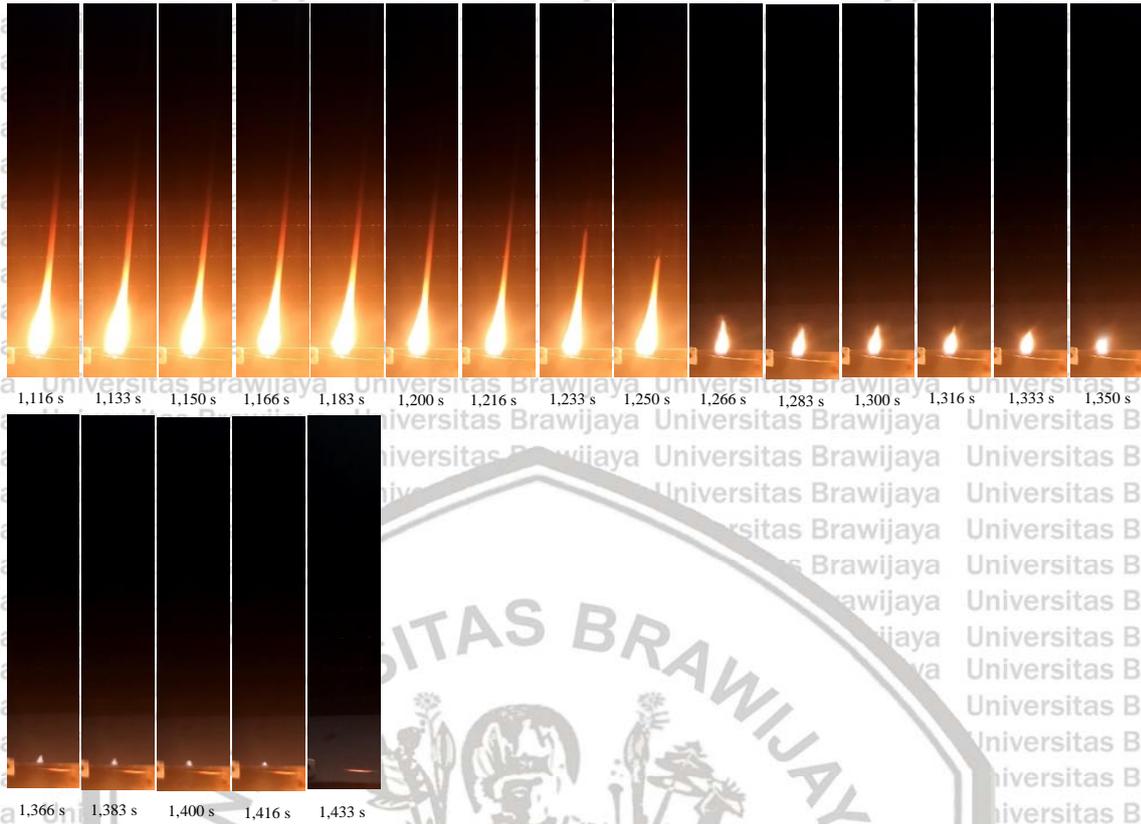


Lampiran 1

**VISUALISASI API BAHAN BAKAR E0**

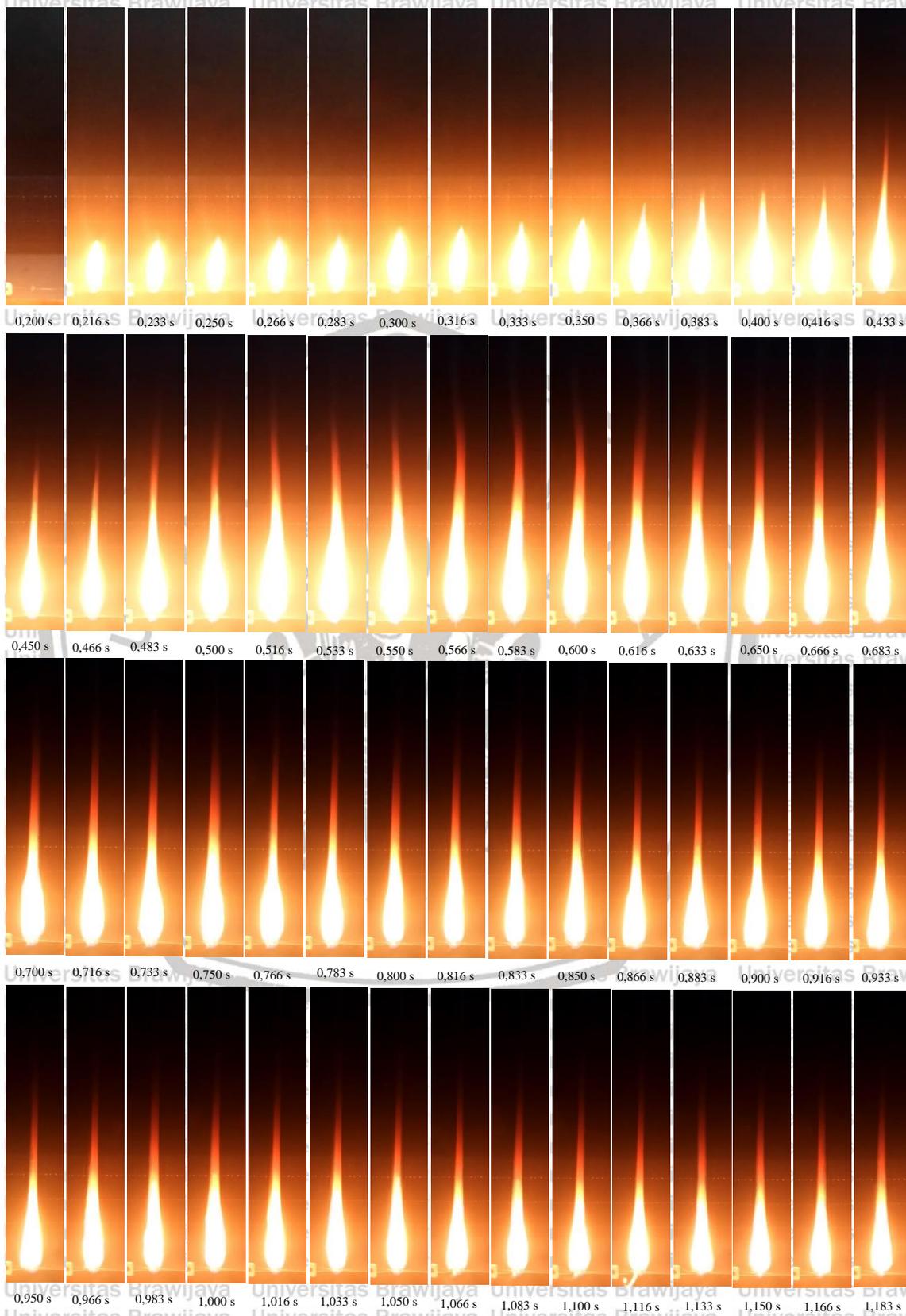


Lampiran 1

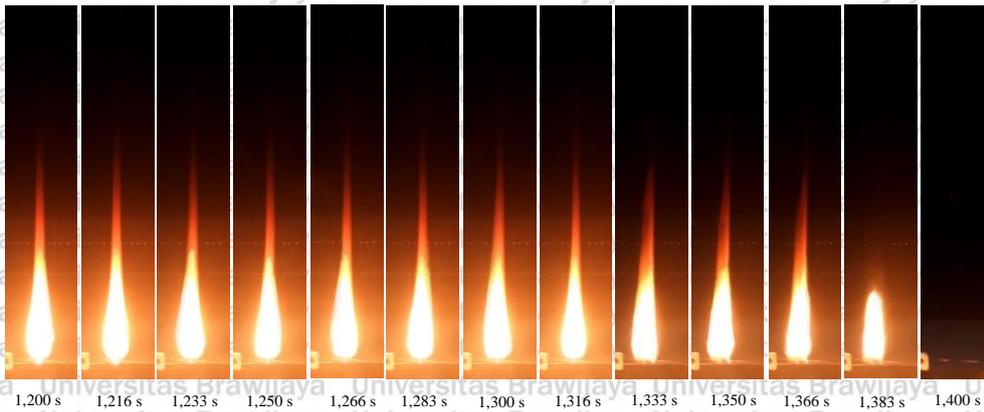


Lampiran 2

**VISUALISASI API BAHAN BAKAR E10**

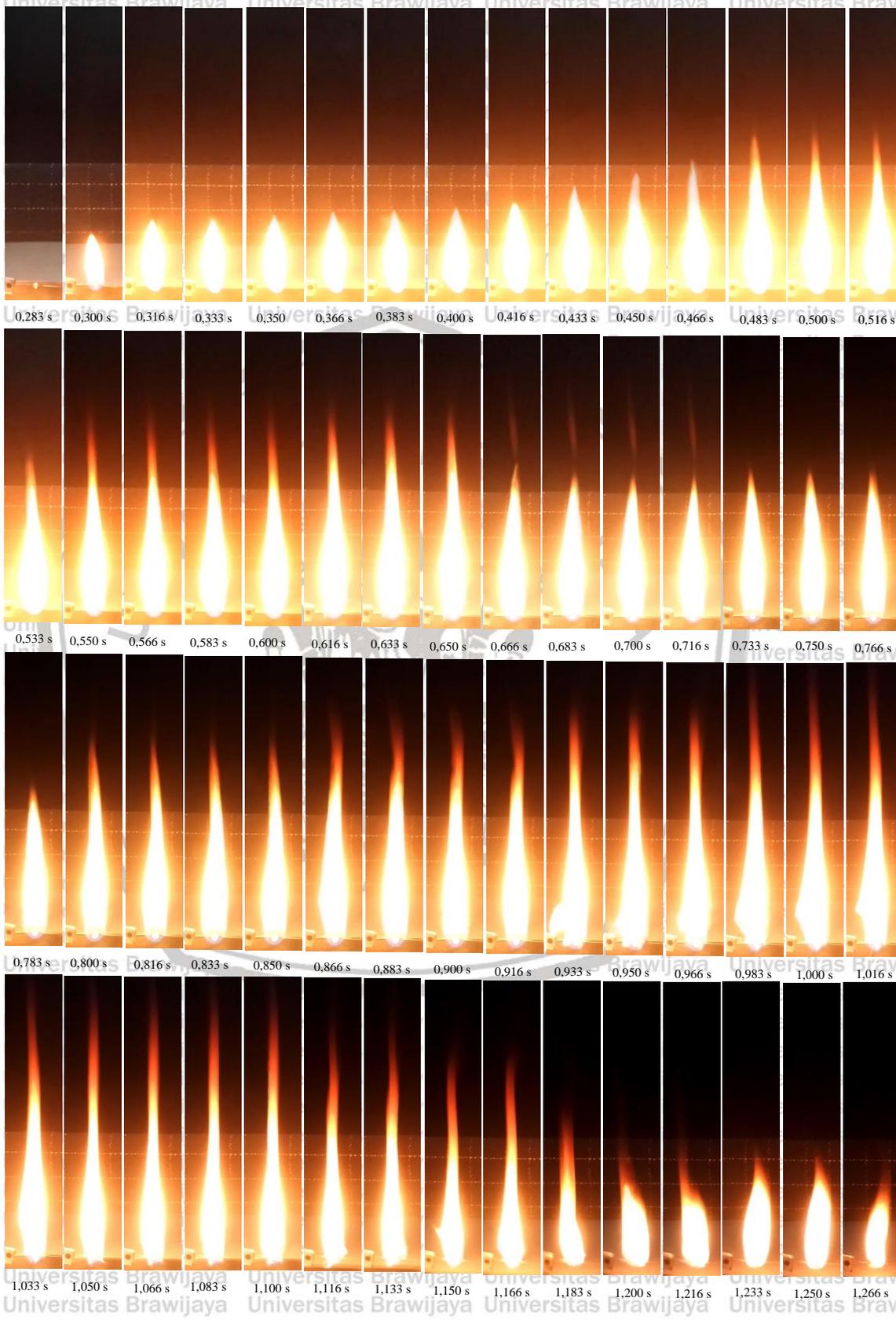


Lampiran 2

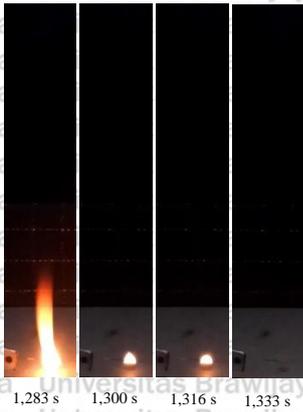


Lampiran 3

**VISUALISASI API BAHAN BAKAR E20**

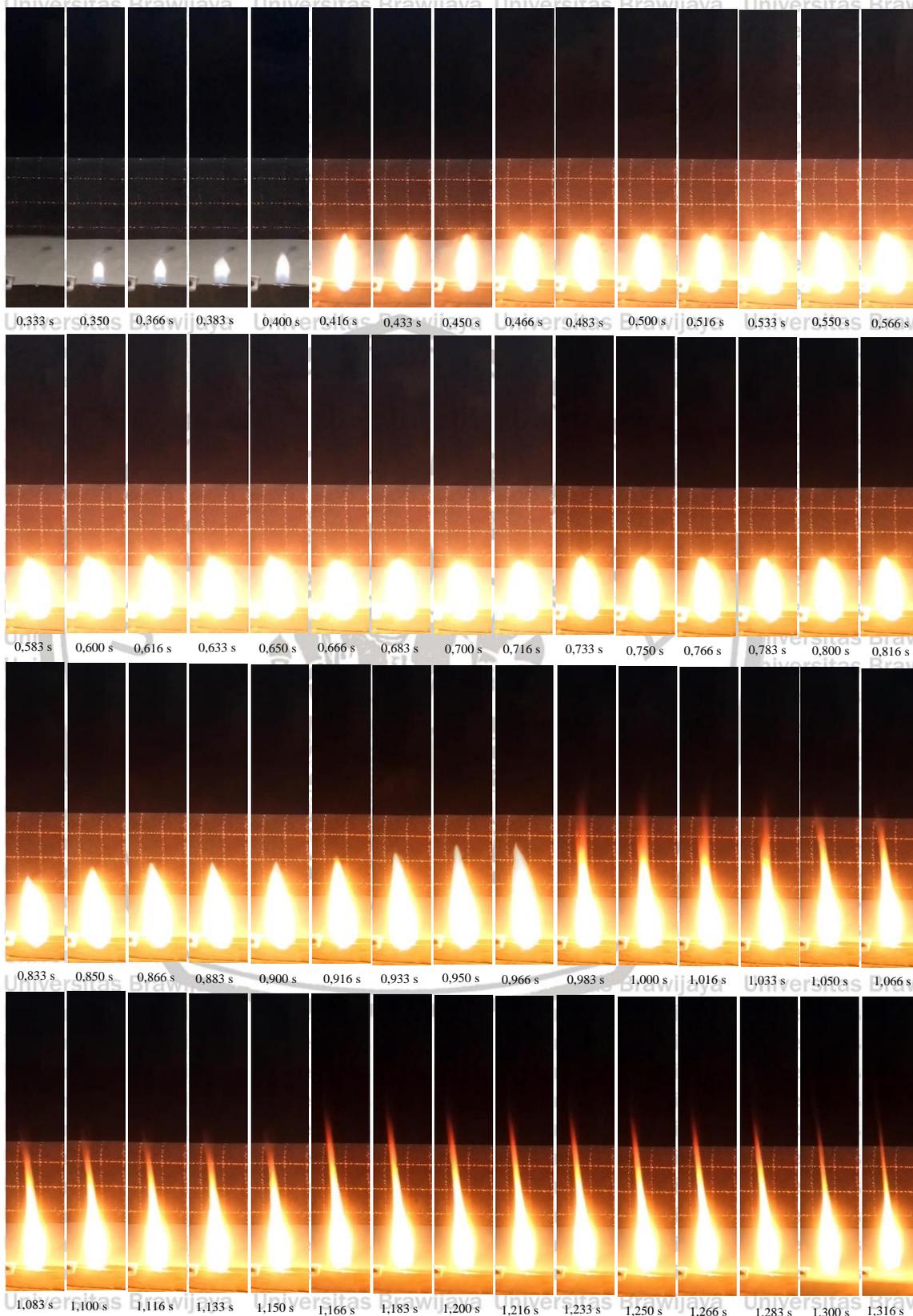


Lampiran 3

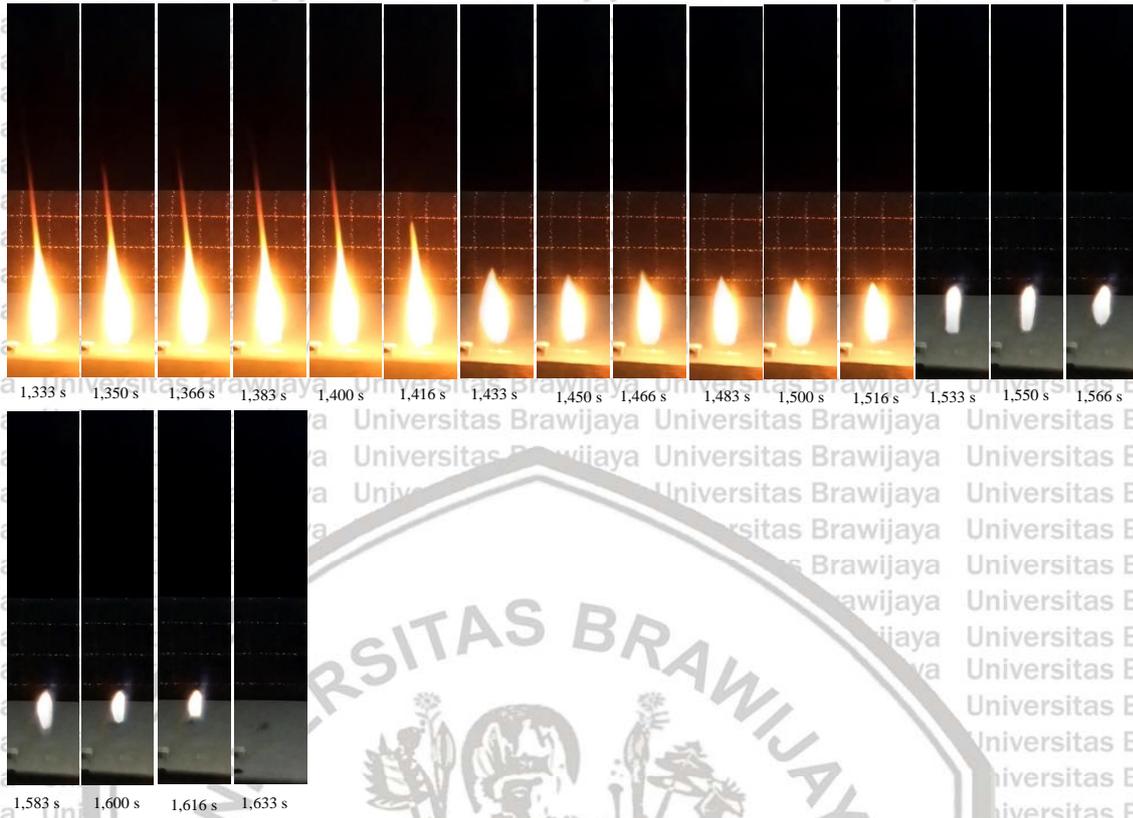


Lampiran 4

**VISUALISASI API BAHAN BAKAR E30**

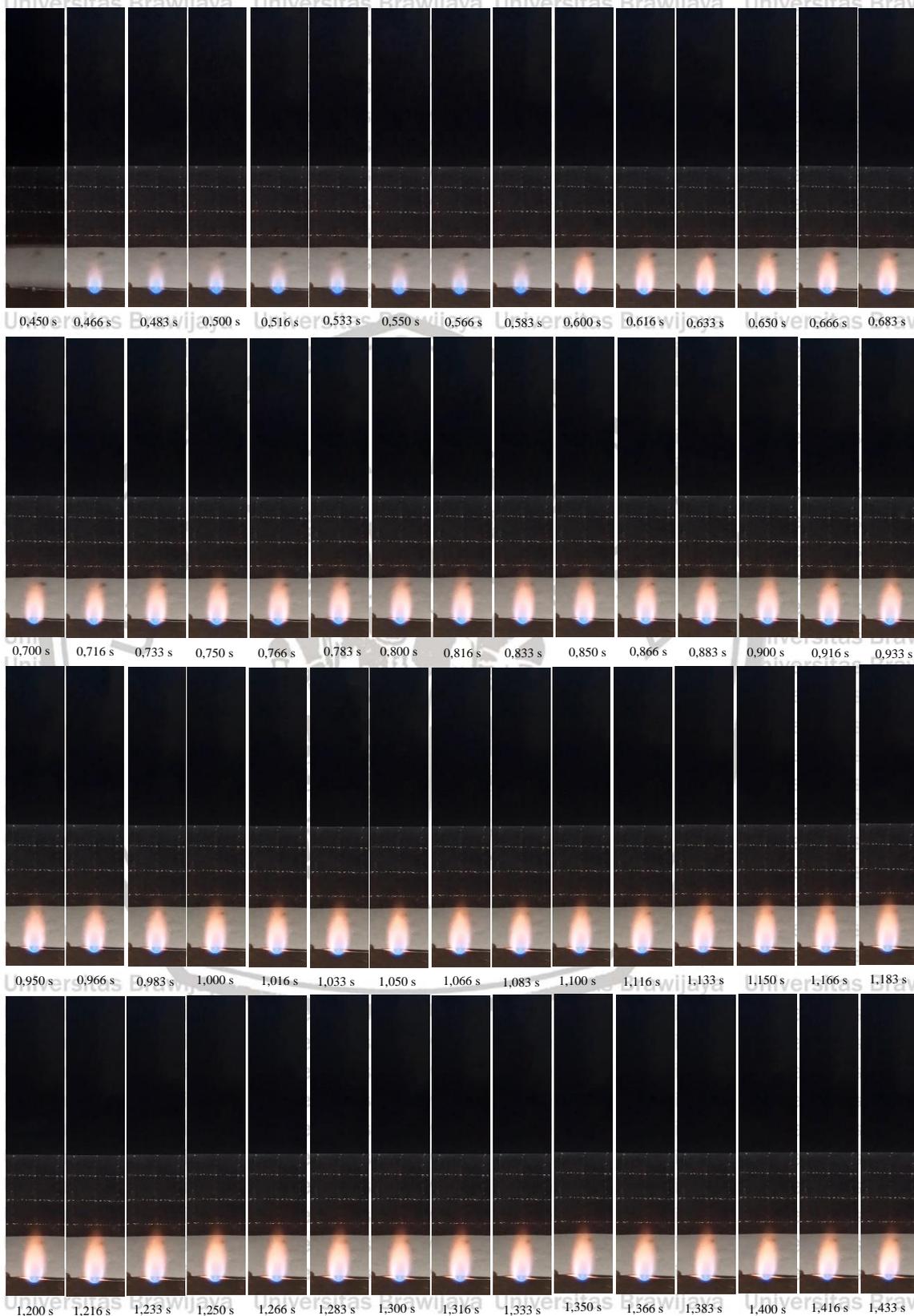


Lampiran 4



Lampiran 5

**VISUALISASI API BAHAN BAKAR E100**

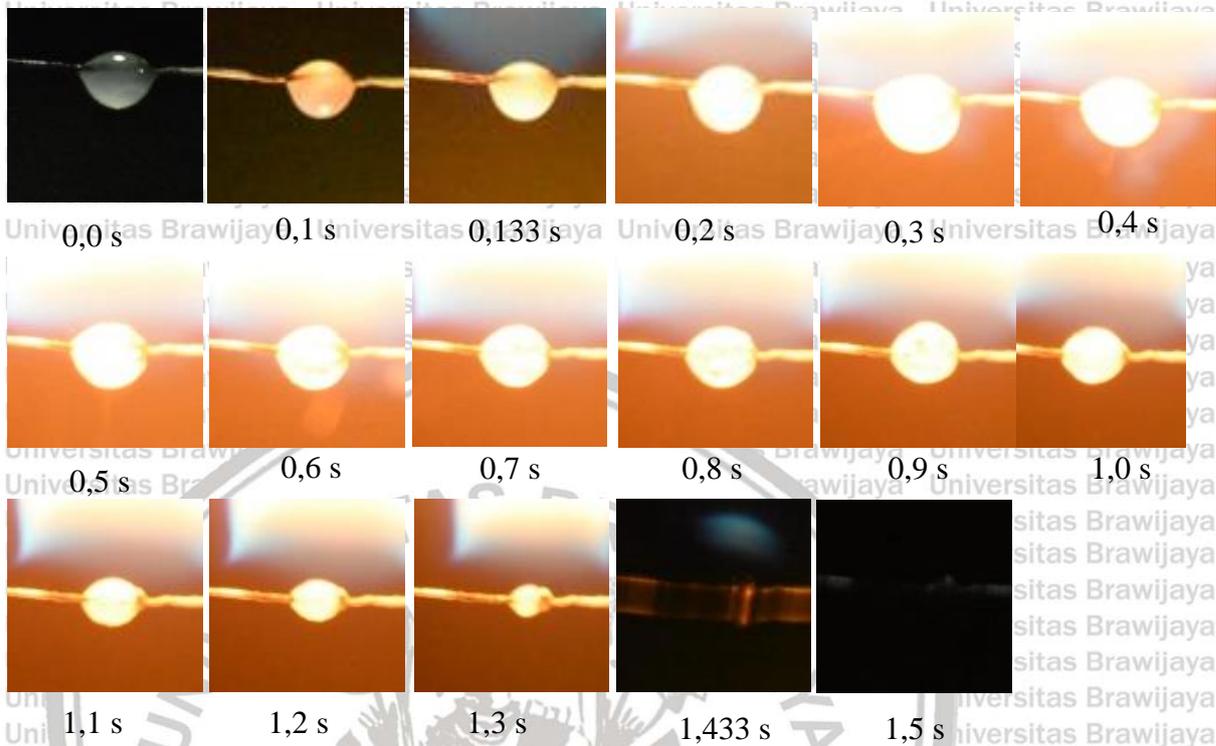


Lampiran 5



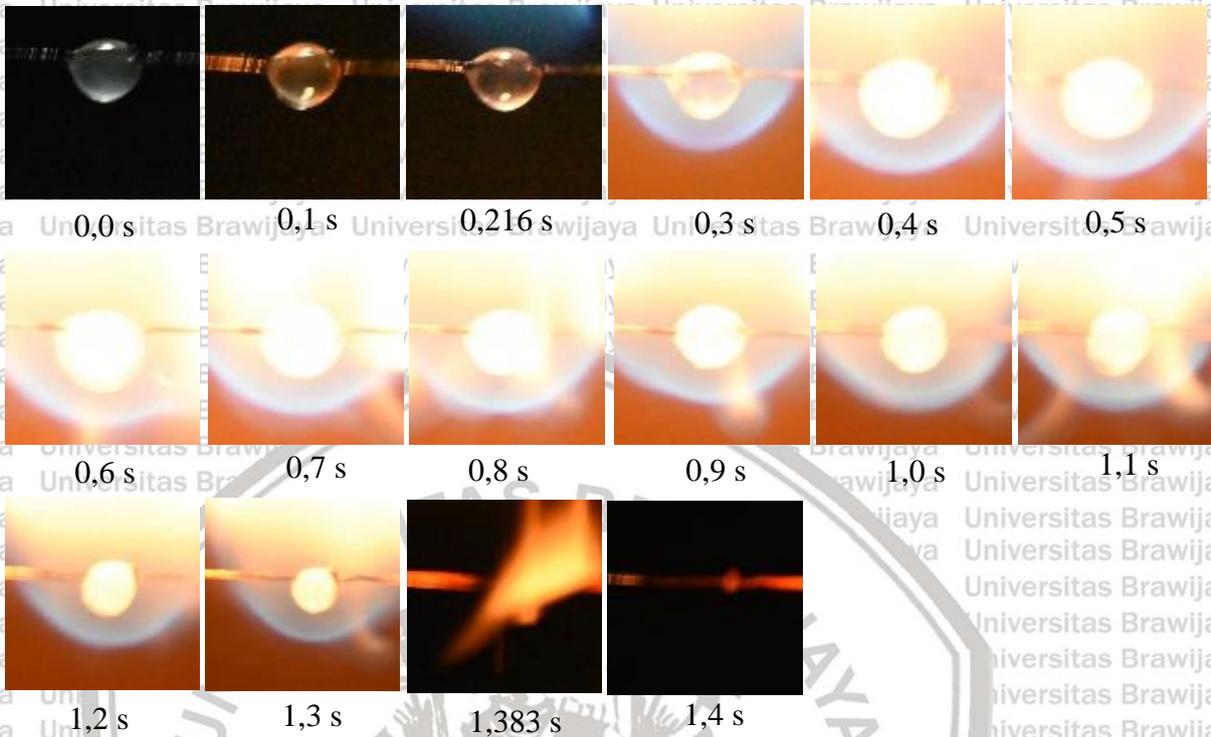
Lampiran 6

**VISUALISASI DROPLET BAHAN BAKAR E0**



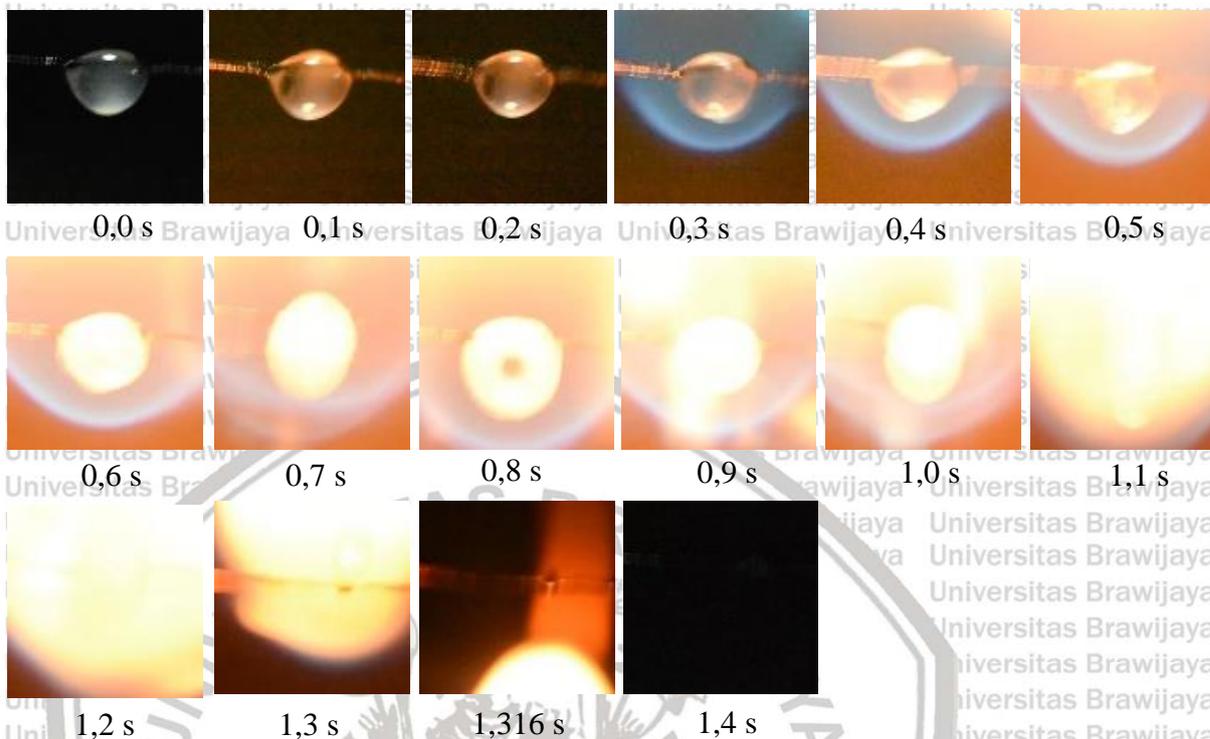
Lampiran 7

**VISUALISASI DROPLET BAHAN BAKAR E10**



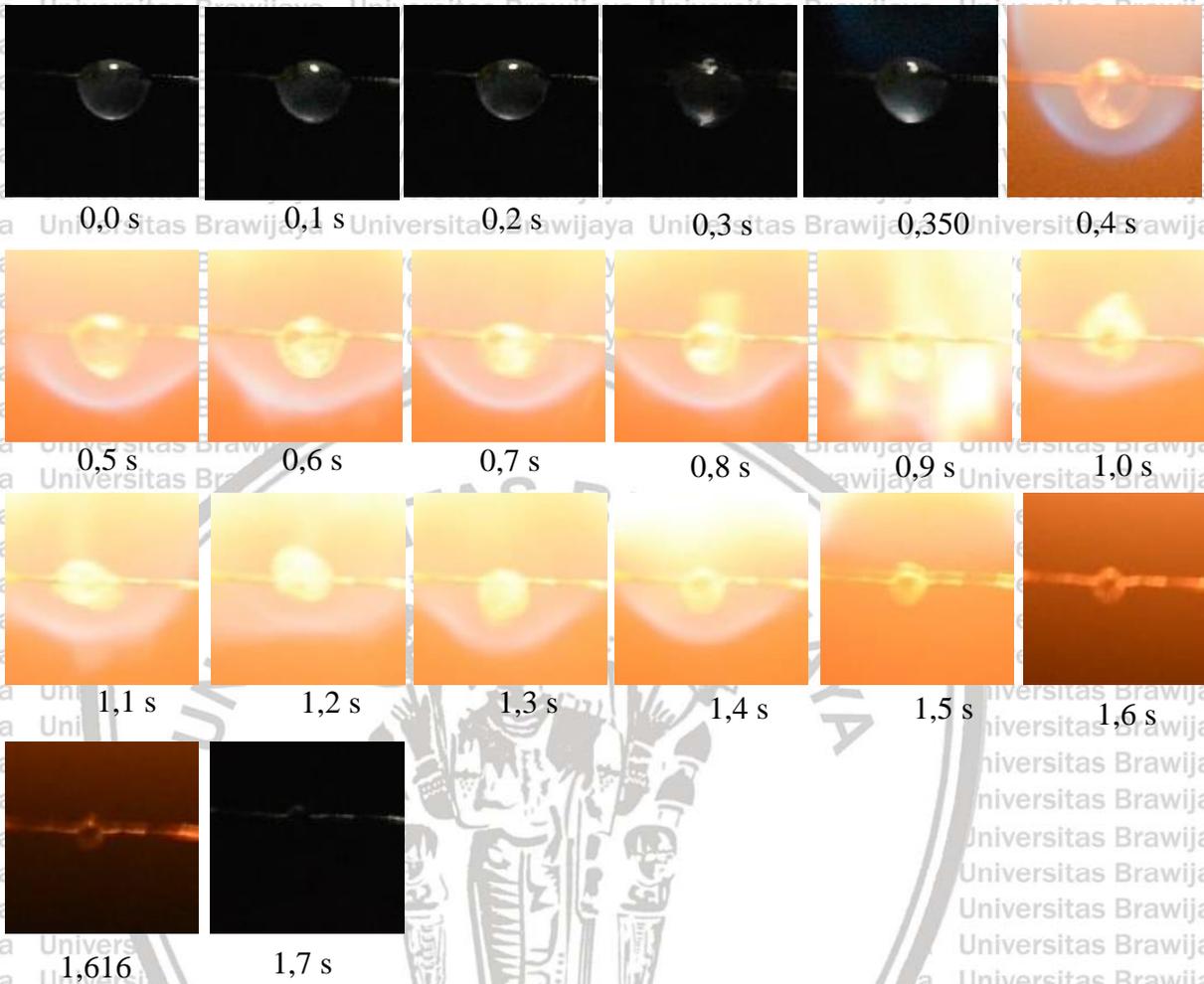
Lampiran 8

**VISUALISASI DROPLET BAHAN BAKAR E20**



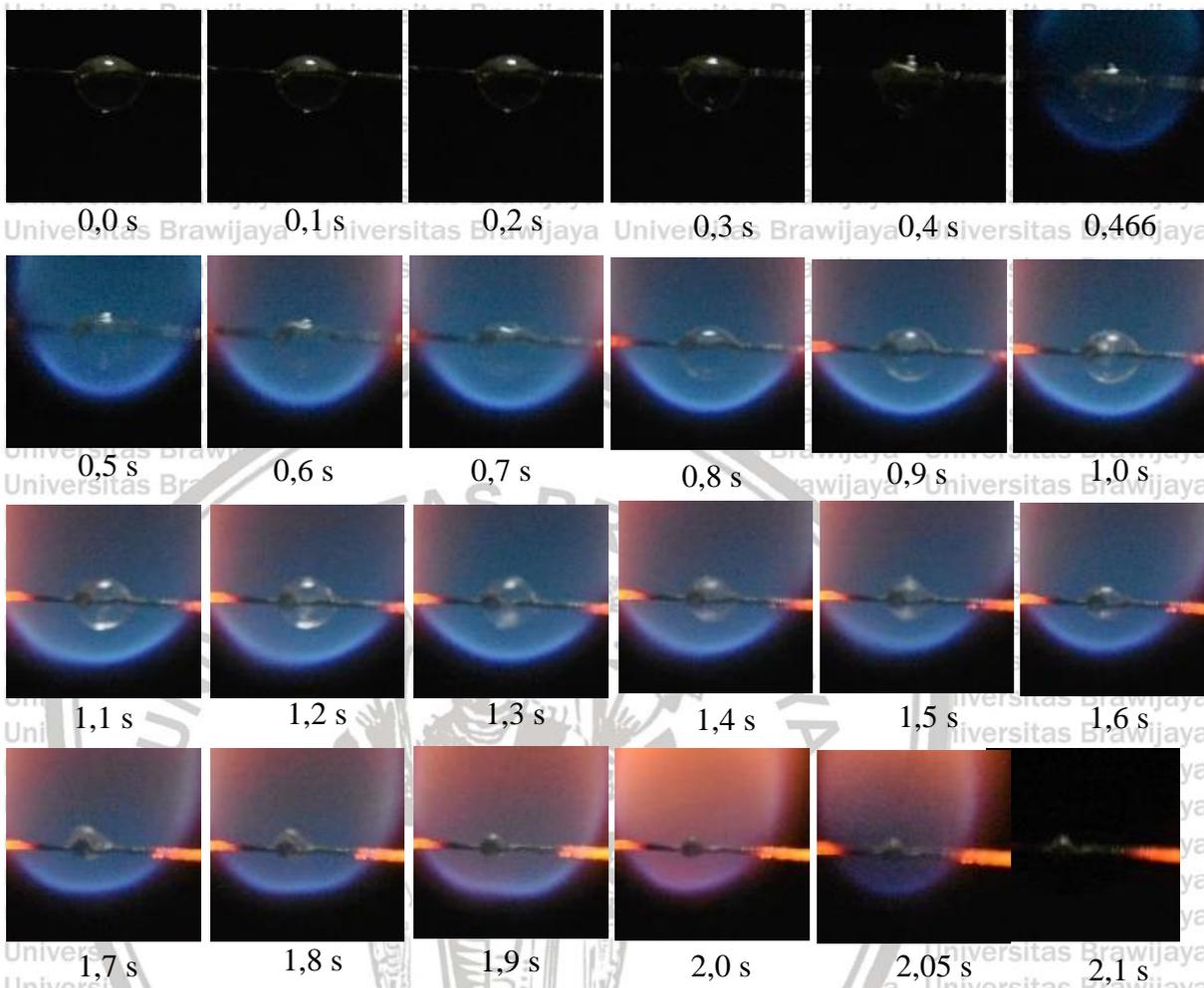
Lampiran 9

**VISUALISASI DROPLET BAHAN BAKAR E30**



Lampiran 10

**VISUALISASI DROPLET BAHAN BAKAR E100**





Lampiran 1

Publikasi Karya Tulis Ilmiah  
Pada Jurnal Rekayasa Mesin  
Universitas Brawijaya



## KARAKTERISTIK PEMBAKARAN DROPLET DENGAN VARIASI KOMPOSISI CAMPURAN BENSIN-ETANOL

**Arwin**  
Mahasiswa S2  
Universitas Brawijaya  
Jurusan Teknik Mesin  
arwinteknikotomotif@rocketmail.com

**Lilis Yuliati**  
Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Brawijaya  
Jurusan Teknik Mesin  
lilis\_y@ub.ac.id

**Agung Sugeng Widodo**  
Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Brawijaya  
Jurusan Teknik Mesin  
agung\_sw@ub.ac.id

*The objective of this research is to investigate the droplet combustion characteristics of gasoline-ethanol fuel blended. The combustion characteristics included ignition delay time, burning lifetime, burning rate constant, flame height, flame temperature and microexplosion. Testing was conducted using fuel blended with ethanol percentage of 0%(E0), 10%(E10), 20% (E20), 30% (E30) and 100% (E100). The fuel was dripped on the tip of thermocouple junction and ignited using a torch of butane-air mixture on a cylindrical burner. The results showed that the ignition delay time increase with the increasing of ethanol percentage due to its high latent heat of vaporation and flash point temperature. However, flame temperature decrease with the increasing of ethanol percentage due to lower heat release rate of the mixture, related to lower heating value of ethanol and the burning rate constant of the fuels were not different significantly. The droplet diameter of the E100 (pure ethanol) decrease according to the  $d^2$ -law but the droplet diameters of the E0,E10,E20,and E30 changed drastically, exhibiting expansion and shrinkage. The Combustion of E20 fuel droplet has the highest burning rate constant and flame height. In addition, the combustion of E20 fuel droplet has the lowest burning lifetime. Microexplosion phenomenon also identified due to the difference between the boiling point temperature gasoline and ethanol.*

**Keywords:** Droplet combustion characteristics, gasoline, ethanol

### 1. PENDAHULUAN

Hingga saat ini tidak dapat dipungkiri bahwa bahan bakar yang berasal dari minyak bumi merupakan bahan bakar yang paling sering dan paling luas digunakan oleh seluruh manusia. Data EIA AS (*Energy Information Administration*) menunjukkan komsumsi global minyak bumi mengalami kenaikan dari tahun ke tahun, seperti pada tahun 2017 dengan total komsumsi dunia 98,55 juta barel per hari meningkat menjadi 100 juta barel per hari pada tahun 2018 [1]. Sehingga salah satu jalan menghemat penggunaan bahan bakar minyak bumi adalah beralih ke sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui (*renewable*).

Etanol ( $C_2H_5OH$ ) adalah salah satu bahan bakar alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti dan campuran bahan bakar bensin yang dapat diinjeksikan langsung ke dalam ruang bakar. Etanol dapat dibuat dari proses pemasakan, fermentasi, distilasi dan dehidrasi beberapa jenis tanaman yang mengandung sukrosa seperti tebu, jagung, singkong, bit, dan buah-buahan atau tanaman lain yang kandungan karbohidratnya tinggi seperti jagung, beras dan sorgum. Bahkan dalam beberapa penelitian ternyata etanol juga dapat dibuat dari biomassa lignoselulosa seperti limbah hasil pertanian, perkebunan dan kehutanan [2, 3].

Beberapa hasil penelitian sebelumnya menunjukkan campuran bensin-etanol hingga 20% (E20) dapat meningkatkan torsi dan daya dibandingkan dengan menggunakan bensin murni dan sebaliknya emisi  $CO$ ,  $HC$  dan  $NO_x$  menurun secara signifikan dengan peningkatan kandungan etanol dalam campuran [4, 5]. Selain itu ditemukan bahwa dengan melakukan pemanasan awal bahan bakar etanol membantu meningkatkan penguapan etanol dan efektif untuk mengatasi masalah tingkat penguapan etanol yang rendah di lingkungan mesin suhu rendah serta efek pendinginan berlebih pada kondisi rasio etanol tinggi [6].

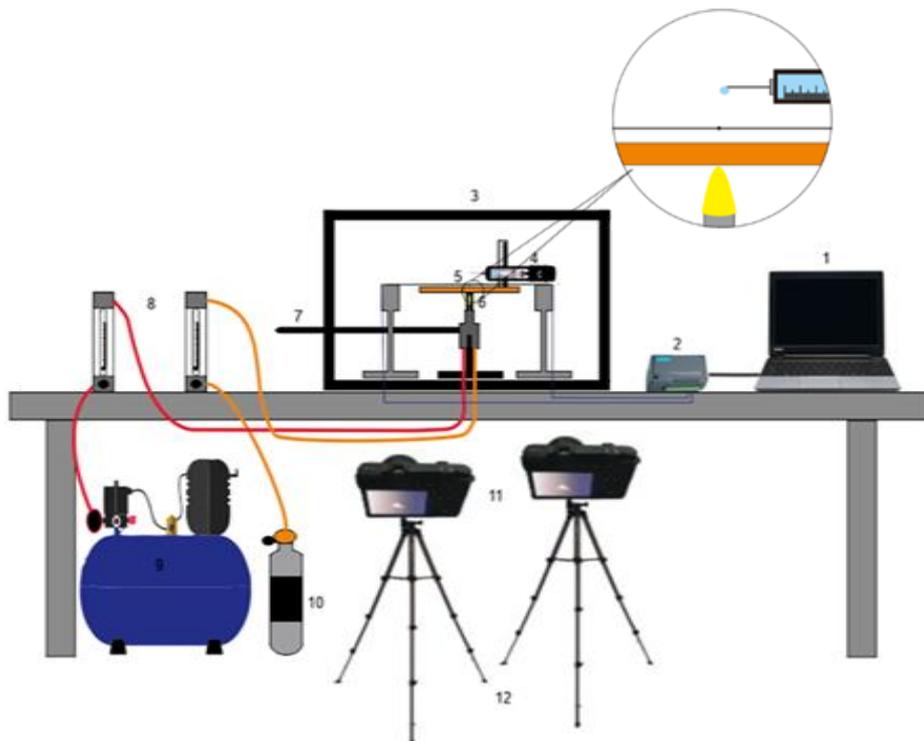
Pembakaran yang terjadi di dalam mesin bensin dengan sistem EFI (*Electronic Fuel Injection*) terdapat suatu proses dimana pemasukan bahan bakar dengan cara disemprotkan langsung ke ruang bakar

untuk bercampur dengan udara lalu dikompresikan kemudian dibakar. Bahan bakar yang disemprotkan tersebut berupa *spray* yang merupakan kumpulan *droplet*. Oleh karena itu, karakteristik pembakaran *spray* nya dapat diperiksa lebih lanjut melalui perilaku pembakaran *droplet*.

Rao, *et al.* [7] dalam penelitiannya mengamati karakteristik pembakaran *droplet* campuran bahan bakar etanol/Jet A-1 dilakukan pada kondisi suhu ruangan  $25 \pm 5^\circ\text{C}$ , 1 atm, dan RH  $\sim 75 \pm 5\%$ . Dari hasil penelitian di simpulkan bahwa pada persentase etanol rendah fenomena yang dominan terjadi adalah *puffing*, dan *abrupt explosion*, sementara fenomena *microexplosion* secara umum terjadi pada persentase etanol yang lebih tinggi. Baik *abrupt explosion* dan *microexplosion* menciptakan distorsi api skala besar yang mengelilingi *droplet* induk. *Droplet* sekunder yang dihasilkan dari *abrupt explosion* mengalami penguapan yang lebih cepat dibandingkan dengan *droplet* sekunder dari *microexplosion*.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh persentase campuran bahan bakar bensin-etanol terhadap karakteristik pembakaran *droplet* yang meliputi *ignition delay time*, lama nyala api, konstanta *burning rate*, tinggi api, temperatur api dan *microexplosion*.

## 2. METODE DAN BAHAN



Keterangan:

- |                                   |                               |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1. Laptop                         | 7. Handle flame ignitor cover |
| 2. Data logger                    | 8. Flowmeter                  |
| 3. Ruang uji bakar <i>droplet</i> | 9. Kompresor                  |
| 4. Pembuat <i>droplet</i>         | 10. Botol bahan bakar butan   |
| 5. <i>Thermocouple</i>            | 11. Kamera                    |
| 6. <i>Cylindrical burner</i>      | 12. Tripod                    |

**Gambar 1:** Instalasi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental (*experimental method*). Penelitian dilakukan pada instalasi penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 1. Penelitian ini bertujuan untuk menguji karakteristik pembakaran *droplet* campuran bensin-etanol. Persentase campuran etanol dalam bensin divariasikan sebesar 0% (E0), 10% (E10), 20% (E20), 30% (E30), dan 100% (E100). Pembuatan *droplet* dengan diameter 1 mm toleransi  $\pm 0,1$  mm diletakkan pada *thermocouple junction* yang berfungsi sebagai peyangga *droplet* sekaligus untuk mengukur temperatur api. *Thermocouple* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *thermocouple* tipe K dengan diameter 0,1 mm yang dihubungkan *advantech data logger*. Penyalaan *droplet* dilakukan dengan pemanasan dari nyala api pembakaran butan-udara pada *cylindrical*

*burner* yang diletakkan di bawah *flame ignitor cover* pada jarak 15 mm. Debit bahan bakar butan dijaga konstan sebesar 10 ml/menit dan debit udara sebesar 400 ml/menit. Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah *ignition delay time*, lama nyala api, konstanta *burning rate*, tinggi api, dan temperatur api.

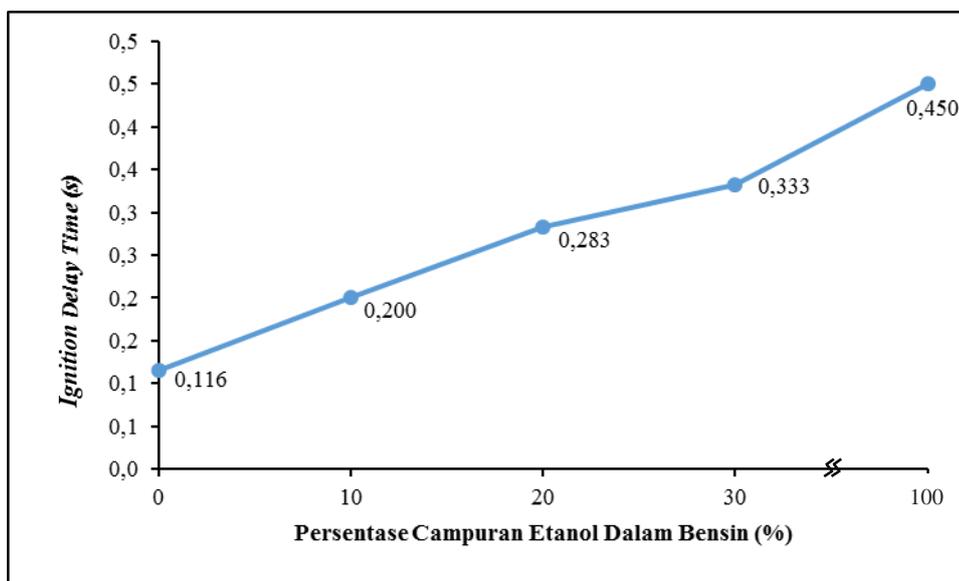
Pengambilan data penelitian berupa video dengan menggunakan kamera Nikon D3400. Mode video yang dipakai adalah 60 fps (*frame per sekon*) kemudian diubah menjadi gambar dengan menggunakan *software Adobe Premiere Pro*. *Ignition delay time* dihitung dari banyaknya *frame* dimulai saat *flame ignitor cover* digeser hingga tepat satu *frame* sebelum terjadinya nyala api pada *droplet*. Sedangkan lama nyala api dihitung dari banyaknya *frame* pada saat mulai terjadinya nyala api sampai tepat satu *frame* sebelum api mulai padam. Tinggi api diukur dengan menggunakan *software ImageJ*. Selanjutnya konstanta *burning rate* dihitung dengan menggunakan rumus:

$$d^2 = d_0^2 - Kt \quad (1)$$

Dimana  $d$  merupakan diameter akhir *droplet* (mm),  $d_0$  adalah diameter awal *droplet* (mm),  $t$  adalah lama *droplet* menyala (detik), dan  $K$  adalah konstanta *burning rate* (mm<sup>2</sup>/detik) [8]. Bahan yang digunakan dalam pengujian pembakaran *droplet* adalah bahan bakar bensin jenis pertalite dan etanol anhidrat PA (*Pro Analys*) yang memiliki kemurnian sangat tinggi (> 99,5 %).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengaruh Persentase Campuran Bensin-Etanol Terhadap Ignition Delay Time

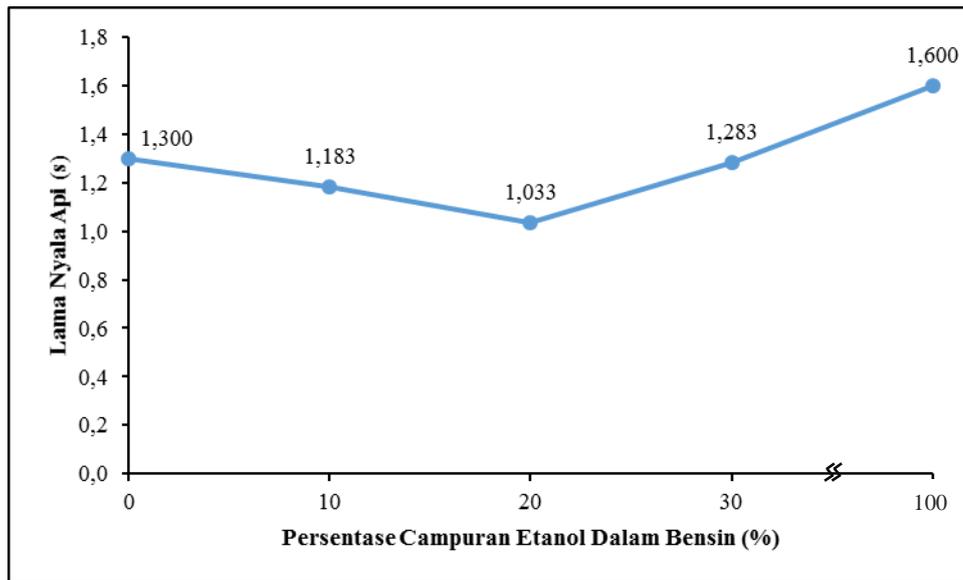


**Gambar 2:** Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap *ignition delay time*

Pada Gambar 2. menunjukkan grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap *ignition delay time*. Nilai *ignition delay time* terendah ada pada E0 yaitu selama 0,116 detik dan nilai *ignition delay time* tertinggi ada pada E100 yaitu selama 0,450 detik. Nilai *ignition delay time* mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase campuran etanol terhadap bensin. Hal ini disebabkan karena etanol memiliki kalor laten penguapan yang 3 kali lebih tinggi yaitu sebesar 918,42 kJ/kg dibandingkan bensin yaitu sebesar 307,3 kJ/kg [9] yang mengindikasikan membutuhkan lebih banyak energi untuk berubah fase dari cair menjadi gas pada temperatur yang sama. Selain itu etanol memiliki nilai *flash point* yang lebih tinggi yaitu sebesar 13°C dibandingkan bensin yaitu sebesar -40°C [10]. *Flash point* sendiri merupakan suhu terendah dimana bahan bakar akan mengeluarkan uap dan membentuk campuran dengan udara yang dapat terbakar. Sehingga dapat dikatakan bahwa, semakin tinggi nilai *flash point* suatu bahan bakar maka waktu penyalaan bahan bakar tersebut semakin lama karena kecepatan penguapannya (*volatility*) yang lambat.

Disisi lain etanol memiliki temperatur *autoignition* lebih tinggi dibandingkan dengan bensin, yaitu sekitar 423°C sedangkan bensin sekitar 257°C [11]. Semakin kecil nilai temperatur *autoignition* suatu bahan bakar maka akan semakin mudah terbakar secara spontan.

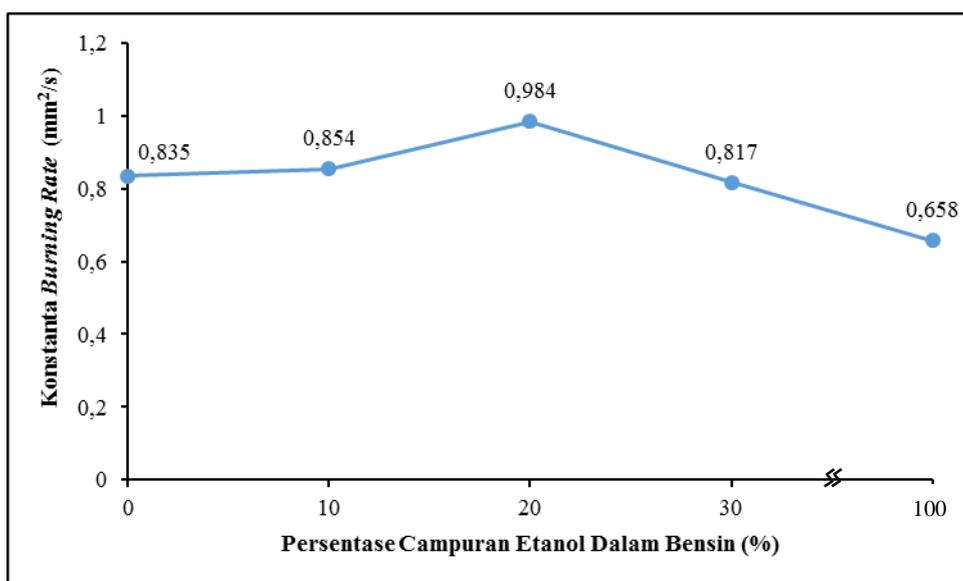
### 3.2 Pengaruh Persentase Campuran Bensin-Etanol Terhadap Lama Nyala Api



**Gambar 3:** Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap lama nyala api

Pada Gambar 3. menunjukkan grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap lama nyala api. Lama nyala api mengalami penurunan sampai pada persentase etanol 20% (E20) dalam bensin dan kemudian mengalami peningkatan lama nyala api pada persentase etanol 30% (E30) sampai 100% (E100). Hal ini terjadi karena pada persentase campuran etanol sampai 20% (E20) dalam bensin intensitas terjadinya *microexplosion* sering dan mengalami penurunan intensitas terjadinya *microexplosion* sampai pada persentase etanol 30% (E30). *Microexplosion* menyebabkan *droplet* bahan bakar pecah menjadi butiran-butiran kecil yang membantu mempercepat proses penguapan dan pencampuran bahan bakar dengan udara sehingga reaksi pembakaran berlangsung semakin cepat [12]. Fenomena *microexplosion* dibahas pada bab berikutnya.

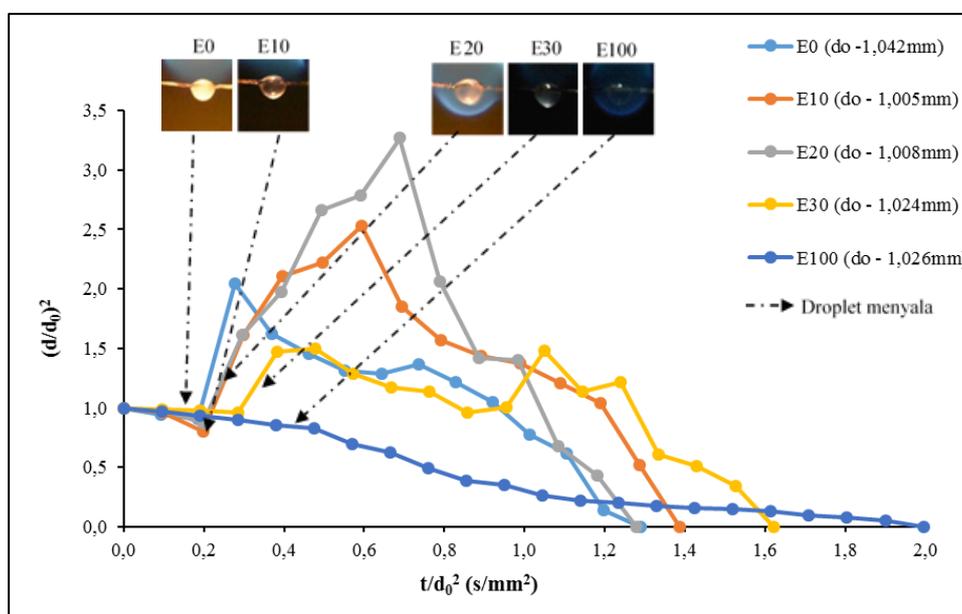
### 3.3 Pengaruh Persentase Campuran Bensin-Etanol Terhadap Konstanta Burning Rate



**Gambar 4:** Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap konstanta *burning rate*

Pada Gambar 4. menunjukkan grafik pengaruh persentase campuran etanol-bensin terhadap konstanta *burning rate*, dimana nilai konstanta *burning rate* tertinggi pada E20 dengan nilai 0,984 mm<sup>2</sup>/s sedangkan yang terendah pada E100 yaitu dengan nilai 0,658 mm<sup>2</sup>/s. Konstanta *burning rate* pada E10 dan E20 mengalami peningkatan, hal ini dikarenakan etanol memiliki kandungan oksigen 34% dari beratnya [13]. Kandungan oksigen tersebut dapat mempercepat reaksi pembakaran, karena pada saat bahan bakar dipanaskan atom oksigen pada etanol akan bereaksi terlebih dahulu dengan atom C (karbon) dan atom H (hidrogen) pada etanol, sehingga menyebabkan reaksi pembakarannya semakin cepat dan nilai konstanta *burning ratenya* semakin tinggi [14]. Namun pada E30 dan E100 mengalami penurunan nilai konstanta *burning rate* dikarenakan peningkatan kalor laten penguapan yang tinggi menyebabkan kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar lambat sehingga kecepatan pembakaran rendah. Campuran etanol dengan persentase 30% (G30) dalam bensin menurunkan nilai kalor dan meningkatkan kalor laten penguapan bahan bakar sehingga menghasilkan temperatur pembakaran dan kecepatan pembakaran yang rendah [15]. Pada waktu pembakaran yang sama di dalam mesin bensin, tingginya nilai konstanta *burning rate* pada bahan bakar E20 akan menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna sehingga berdampak pada pengurangan emisi CO dan HC. Selain itu memungkinkan semakin banyak *droplet* bahan bakar yang terbakar sehingga efisiensi pembakaran meningkat yang akan berdampak pada peningkatan torsi dan daya pada mesin bensin.

### 3.4 Pengaruh Persentase Campuran Bensin-Etanol Terhadap Perubahan Diameter Droplet

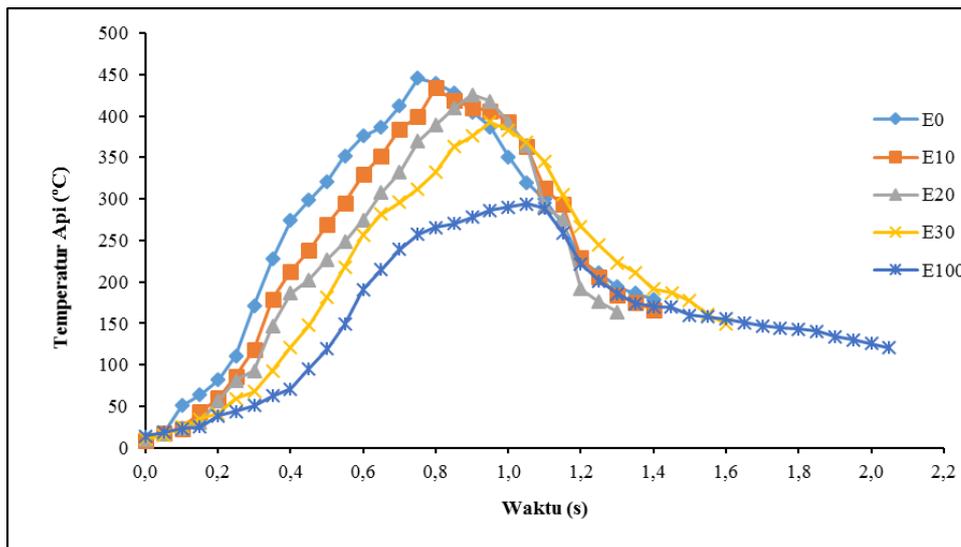


**Gambar 5:** Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol etanol terhadap perubahan diameter *droplet*

Perubahan diameter *droplet* dihitung dari awal *flame ignitor cover* digeser sampai kembali matinya api pada proses pembakaran *droplet*. Pada Gambar 5. dapat dilihat bahwa E100 mengalami perubahan diameter *droplet* sesuai *d<sup>2</sup>-law* yang nilainya terus turun tanpa adanya fluktuasi. Nilai perubahan diameternya cenderung stabil dari awal *flame ignitor cover* digeser sampai mulai timbulnya api dan setelah timbul api terjadi perubahan diameter *droplet* yang lebih cepat. Pada persentase campuran E0 nilai perubahan diameternya tidak stabil. Hal ini dikarenakan komponen penyusun bensin terdiri dari hidrokarbon rantai lurus mulai dari C<sub>4</sub> sampai dengan C<sub>12</sub> yang masing-masing memiliki perbedaan temperatur titik didih, penguapan dan penyalaaan sehingga menyebabkan *droplet* mengembang dan mengecil.

Pada persentase campuran E10, E20 dan E30 terjadi fluktuasi yang ekstrem pada ukuran diameter *droplet* setelah terbakar. Hal ini dikarenakan adanya kandungan etanol menyebabkan *droplet* mengembang dan mengecil akibat perbedaan temperatur titik didih, penguapan, dan penyalaaan *droplet* bahan bakar. Setelah *droplet* terbakar terjadi pula *microexplosion* karena perbedaan temperatur titik didih dari etanol dan bensin yang dicampurkan pada E10, E20 dan E30 sehingga terjadi perubahan ukuran diameter *droplet* yang ekstrem.

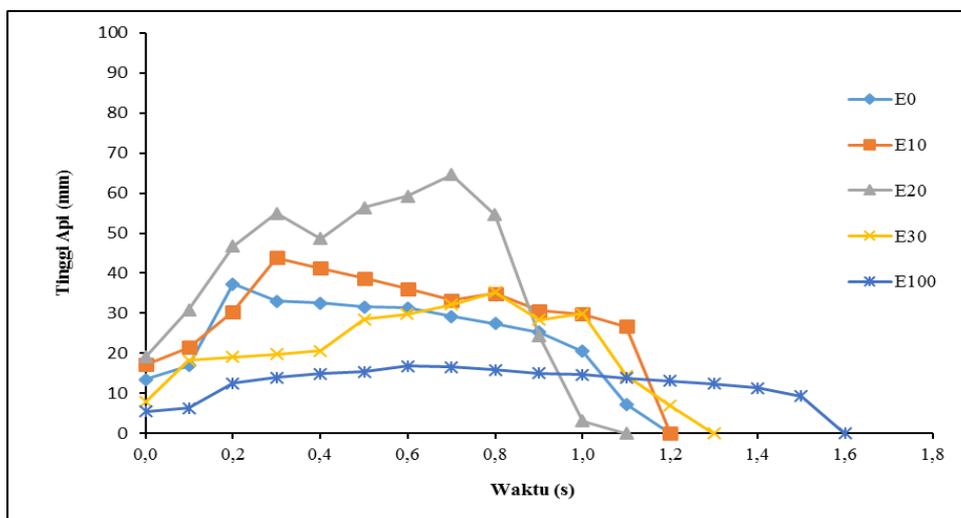
### 3.5 Pengaruh Persentase Campuran Bensin-Etanol Terhadap Temperatur Api



Gambar 6: Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap temperatur api

Pada Gambar 6. menunjukkan E0 mempunyai nilai maksimum temperatur api tertinggi dibandingkan dengan yang lain, yaitu sebesar 445,701°C sedangkan nilai maksimum temperatur api terendah pada E100 yaitu sebesar 294,117°C. Semakin tinggi persentase campuran etanol dalam bensin menyebabkan penurunan nilai maksimum temperatur api. Hal ini disebabkan karena laju pelepasan panas yang lebih rendah dari campuran bahan bakar, terkait dengan nilai kalor etanol yang lebih rendah dan konstanta *burning rate* bahan bakar yang tidak berbeda secara signifikan. Nilai kalor etanol hanya sekitar 60% dibandingkan dengan bensin, dimana nilai kalor etanol yaitu sebesar 26.900 kJ/kg sedangkan bensin yaitu sebesar 44.000 kJ/kg [16]. Sehingga ketika etanol dicampurkan ke dalam bensin maka nilai kalor yang di miliki oleh campurannya akan berada diantara nilai kalor bensin dan nilai kalor etanol. Nilai kalor suatu bahan bakar menunjukkan jumlah panas/kalori yang dibebaskan dari proses pembakaran dalam satuan volume atau massa. Semakin rendahnya nilai maksimum temperatur api yang dihasilkan seiring dengan peningkatan kadar etanol dalam bensin berdampak pada pengurangan emisi NO<sub>x</sub> hasil pembakaran pada mesin. Karena emisi NO<sub>x</sub> akan terbentuk pada proses pembakaran dengan temperatur yang cukup tinggi.

### 3.6 Pengaruh Persentase Campuran Bensin-Etanol Terhadap Tinggi Api



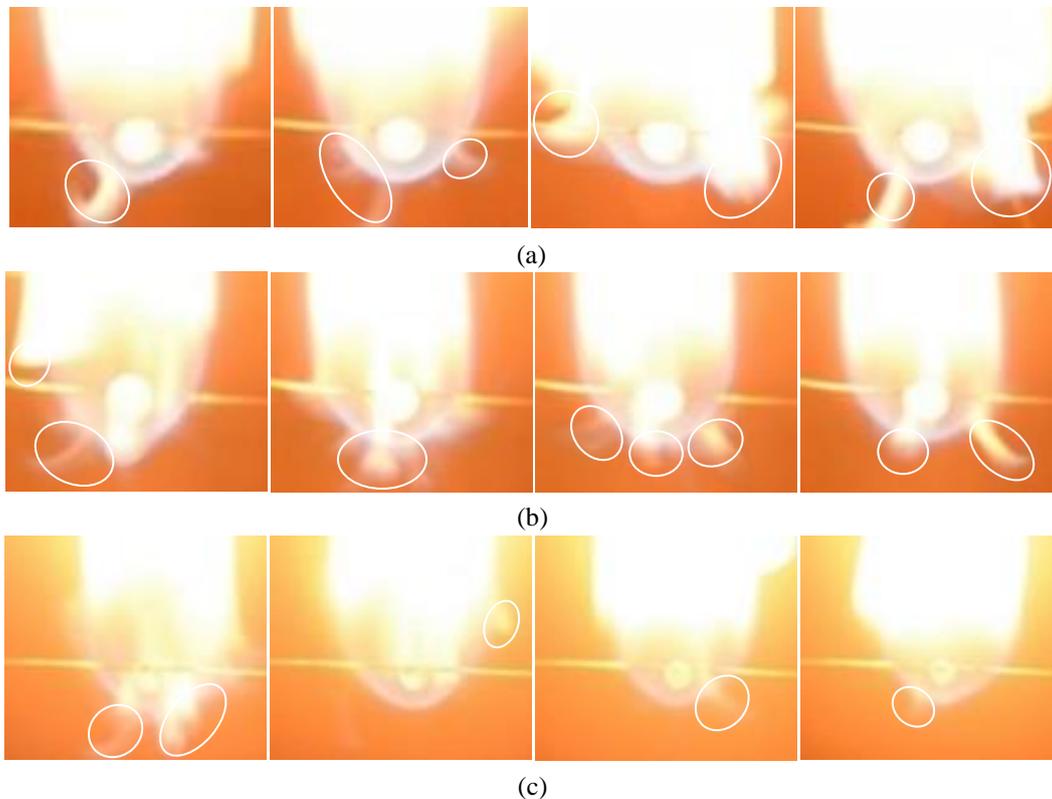
Gambar 7: Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap tinggi api

Tinggi api dihitung dari titik penyalaaan *droplet* terjadi sampai kembali matinya api pada reaksi pembakaran *droplet*. Dari Gambar 7. dapat dilihat bahwa E20 menunjukkan tinggi api maksimum yang paling tinggi diantara semua variasi bahan bakar dengan nilai 64,578 mm, sedangkan tinggi api maksimum yang paling rendah pada E100 dengan nilai 16,743 mm. Tinggi nyala api dipengaruhi oleh kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar, semakin cepat bahan bakar menguap dan berdifusi ke udara maka nyala api yang dihasilkan akan semakin tinggi.

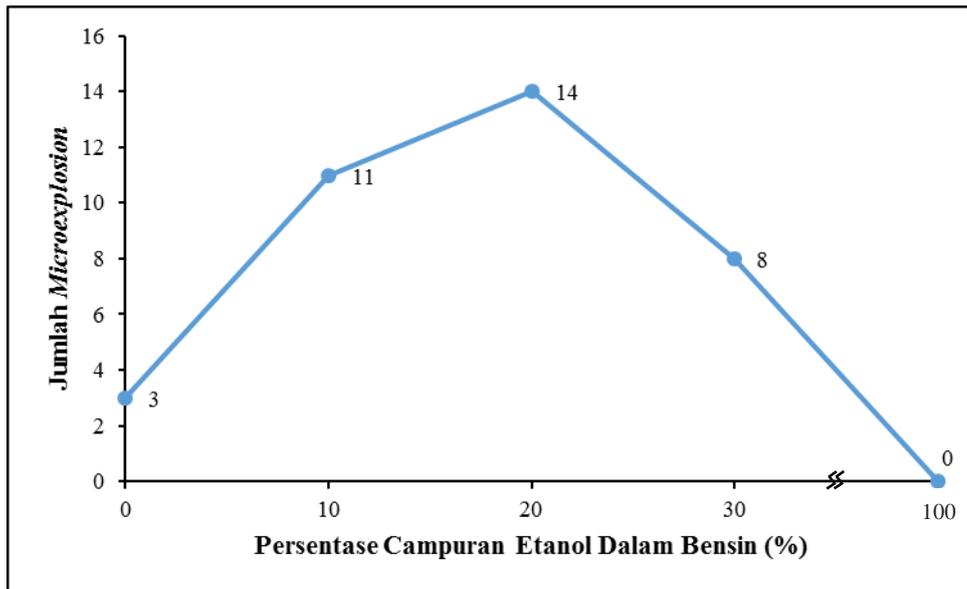
Pada E100 menunjukkan perubahan tinggi api yang paling stabil karena kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar etanol yang paling lambat diantara campuran bahan bakar lainnya, sehingga menghasilkan tinggi api maksimum yang paling rendah. Pada E0 dan E10 nilai maksimum tinggi api terjadi setelah awal pembakaran *droplet*, hal ini disebabkan karena kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar yang cepat. Namun pada E20 dan E30 nilai maksimum tinggi api terjadi mendekati akhir pembakaran *droplet*, hal ini dapat terjadi karena pada awal pembakaran *droplet* beberapa kandungan etanol dalam campuran bahan bakar terbakar lebih dahulu setelah itu kandungan bensin baru terbakar yang dimana memiliki kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar yang cepat sehingga tinggi api maksimum terjadi mendekati akhir pembakaran *droplet*.

### 3.7 Microexplosion

*Microexplosion* adalah suatu fenomena ledakan kecil yang terjadi pada pembakaran *droplet* yang terdiri dari dua jenis cairan atau lebih. Hal ini terjadi karena perbedaan temperatur titik didih masing-masing zat penyusun bahan bakar cair. Selain itu terjadinya *microexplosion* bisa diakibatkan oleh homogenitas campuran bahan bakar cair dan adanya kandungan air pada bahan bakar. Ledakan tersebut berpotensi meningkatkan *engine performance* karena merupakan proses atomisasi tingkat dua (*secondary atomization*) [17]. Terjadinya *microexplosion* dalam suatu pembakaran mengakibatkan *droplet* pecah menjadi partikel-partikel kecil yang membantu mempercepat proses penguapan, pencampuran bahan bakar dan udara sehingga reaksi pembakaran akan berlangsung semakin cepat. Pada pembakaran *droplet* campuran bahan bakar bensin-etanol terjadi *microexplosion* pada E0, E10, E20 dan E30.



**Gambar 8:** Fenomena *microexplosion* yang terjadi pada (a) E10; (b) E20; dan (c) E30



**Gambar 9:** Grafik pengaruh persentase etanol terhadap jumlah *microexplosion* campuran bensin-etanol

Dari Gambar 9. terlihat bahwa pencampuran etanol dalam bensin menyebabkan sering terjadinya *microexplosion* pada pembakaran *droplet*. Jumlah *microexplosion* yang paling sering terjadi pada E20, hal ini disebabkan karena perbedaan temperatur titik didih antara bensin dan etanol dalam campuran bahan bakar sehingga menyebabkan pada E20 memiliki konstanta *burning rate* tertinggi dan nyala api yang paling singkat. Pada bahan bakar bensin (E0) terjadi *microexplosion* yang begitu kecil dan tidak sering terjadi, hal ini dapat terjadi karena komposisi penyusun bensin yang terdiri dari campuran hidrokarbon rantai lurus mulai dari C<sub>4</sub> sampai dengan C<sub>12</sub> masing-masing memiliki temperatur titik didih yang berbeda [18]. Sedangkan pada bahan bakar etanol (E100) tidak terjadi *microexplosion* hal ini disebabkan karena etanol yang digunakan dalam pengujian pembakaran *droplet* yaitu etanol anhidrat yang memiliki kemurnian sangat tinggi sehingga tidak ada perbedaan temperatur titik didih pada bahan bakar yang berdampak pada rendahnya konstanta *burning rate* dan menghasilkan nyala api yang paling lama diantara semua variasi bahan bakar.

Pada pembakaran *droplet* bensin-etanol terjadi hubungan yang tidak linear antara jumlah terjadinya *microexplosion* terhadap lama nyala api, hal ini bisa diakibatkan karena *droplet* sekunder yang dihasilkan dari terjadinya fenomena *microexplosion* memiliki ukuran yang berbeda-beda. Semakin kecil ukuran *droplet* sekunder yang dihasilkan maka semakin cepat *droplet* mengalami penguapan dan terbakar yang secara signifikan akan mempengaruhi lama nyala api.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai *ignition delay time* mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase campuran etanol terhadap bensin.
2. Lama nyala api dan konstanta *burning rate* dipengaruhi oleh kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar serta kecepatan reaksi terhadap udara (oksigen).
3. Perubahan diameter *droplet* dipengaruhi oleh komponen penyusun bahan bakar yang memiliki perbedaan temperatur titik didih, penguapan dan penyalaaan sehingga mengakibatkan *droplet* mengembang dan mengecil selama proses pembakaran *droplet*.
4. Semakin tinggi persentase campuran etanol terhadap bensin maka nilai maksimum temperatur api yang dihasilkan semakin rendah.
5. Tinggi api dipengaruhi oleh kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar.
6. Terjadinya fenomena *microexplosion* akibat perbedaan temperatur titik didih komponen penyusun bahan bakar.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] U.S EIA (Energy Information Administration)., “International Energy Outlook”, [https://www.eia.gov/outlooks/steo/report/global\\_oil.php](https://www.eia.gov/outlooks/steo/report/global_oil.php). Diakses: Februari 2019.
- [2] Thangavelu, S.K., Ahmed, A.S., Ani, F.N., “Review on bioethanol as alternative fuel for spark ignition engines”, *Science Direct Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 56, n. 1, pp. 820-835, April 2016.
- [3] Zabeed, H., Sahu, J.N., Suely, A., Boyce, A.N., Faruq, G., “Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress”, *Science Direct Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 71, n. 1, pp. 475-501, Mei 2017.
- [4] Singh, P.A., Ramadhas, R., Mathai, A., Sehgal., “Investigation on combustion, performance and emissions of automotive engine fueled with ethanol-blended gasoline”, *SAE Internasional Journal of Fuels and Lubricants*, v. 9, n. 1, pp. 215–223, April 2016.
- [5] Iodice, P., Langella, G., Amoresano, A., “Ethanol in gasoline fuel blends: effect on fuel consumption and engine out emissions of SI engines in cold operating conditions”, *Science Direct Journal Applied Thermal Engineering*, v. 130, n. 1, pp. 1081–1089, Februari 2018.
- [6] Huang, Y., Hong, G., “Investigation of the effect of heated ethanol fuel on combustion and emissions of an ethanol direct injection plus gasoline port injection (EDI+GPI) engine”, *Science Direct Journal Energy Conversion and Management*, v. 123, n. 1, pp. 338–347, September 2016.
- [7] Rao, D.C.K., Syam, S., Karmakar, S., Joarder, R., “Experimental investigations on nucleation, bubble growth, and microexplosion characteristics during the combustion of ethanol/Jet A-1 fuel droplets”, *Science Direct Journal Experimental Thermal and Fluid Science*, v. 89, n. 1, pp. 284–294, Desember 2017.
- [8] Yang, S.I. & Wu, M.S., “The droplet Combustion and thermal characteristics of pinewood bio-oil from slow pyrolysis”, *Science Direct Journal Energy*, v. 141, n. 1, pp. 2377–2386, November 2017.
- [9] Qian, Y., Liu, G., Guo, J., Zhang, Y., Zhu, L., Lu, X., “Engine performance and octane on demand studies of a dual fuel spark ignition engine with ethanol/gasoline surrogates as fuel”, *Science Direct Journal Energy Combustion and Management*, v. 183, n. 1, pp 296-306, Maret 2019.
- [10] Yusuf, A.A. & Inambao, F.L., “Bioethanol production from different Matooke peels species: A surprising source for alternative fuel”, *Science Direct Journal Case Studies in Thermal Engineering*, v. 13, n. 1, pp. 1–10, Maret 2019.
- [11] Capatano, F., Sementa, P., Vaglioce, B.M., “Air-fuel mixing and combustion behavior of gasoline-ethanol blends in a GDI wall-guided turbocharged multi-cylinder optical engine”, *Science Direct Journal Renewable Energy*, v. 96, n. 1, pp. 319-332, Oktober 2016.
- [12] Shingo, J., Xia, J., Ganippa LC., Megaritis, A., “Physics of puffing and micro explosion of emulsion fuel droplets”, In: *Physics of Fluids* 26, 103302-22, AIP Publishing, Oktober 2014.
- [13] Shahir, S.A., *et al.*, “Feasibility of diesel-biodiesel-ethanol/bioethanol blend as existing CI engine fuel: An assessment of properties, material compatibility, safety and combustion”, *Science Direct Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 32, n. 1, pp. 379-395, April 2014.
- [14] Misbachudin., Yuliati, L., Novareza, O., “Pengaruh persentase biodiesel minyak nyamplung-solar terhadap karakteristik pembakaran droplet”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 8, n. 1, pp. 9-14, Mei 2017.
- [15] Iodice, P., Senatore. A., Langella. G., Amoresano, A., “Effect of ethanol–gasoline blends on CO and HC emissions in last generation SI engines within the cold-start transient: An experimental investigation”, *Science Direct Journal Applied Energy*, v. 179, n. 1, pp. 182-190, Oktober 2016.
- [16] Raja, A.S., A., Arasu, A.V., Sornakumar, T., “Effect Of Gasoline - Ethanol Blends On Performance And Emission Characteristics Of A Single Cylinder Air Cooled Motor Bike Si Engine”, *Journal of Engineering Science and Technology*, v. 10, n. 12, pp. 1540-1552, Maret 2015.
- [17] Bindar, Y., “Tinjauan penggunaan air teremulsi dalam minyak bakar sebagai bahan bakar industri dan mesin diesel: Apakah menguntungkan atau merugikan dan apa permasalahan standarisasinya?”, In: *Temu Karya Uji Profisiensi Laboratorium BBM, Pelumas, dan Gas*, Bandung, 21-22 Oktober 2015.
- [18] Sarathy, S.M., Kukkadapu, G., Mehl, M., Wang ,W., Javed, T., Park, S., Mattew, A., Oehlschlaeger., Farooq, A., William, J.P., Sung, J., “Ignition of alkane-rich FACE gasoline fuels and their surrogate mixtures”, *Science Direct Proceedings of the Combustion Institute*, v. 35, n. 1, pp. 249-257, Juli 2015.