

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pembentukan *Droplet*

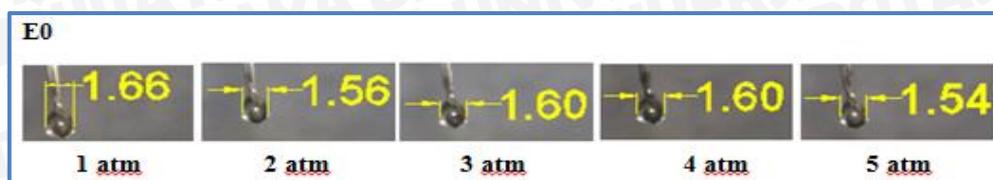
Data hasil penelitian didapat dari penelitian eksperimental terhadap campuran biodiesel minyak biji randu dengan etanol dalam ruang bertekanan. Dimana data yang telah diambil akan digunakan sebagai acuan analisa karakteristik pembakaran biodiesel minyak biji randu dengan etanol dalam ruang bertekanan. Pengambilan data yang dilakukan antara lain adalah data temperatur pembakaran, *burning rate*, *ignition delay*, tinggi api dan lebar api.

Dalam setiap pengambilan data, hal pertama yang dilakukan adalah pembentukan dari tetesan bahan bakar atau *droplet*. Pembuatan *droplet* dilakukan dengan alat suntikan dan dibuat dengan ukuran sekecil mungkin hingga *droplet* dapat menggantung pada *termocouple* seperti tampak pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 *Droplet*

Hasil pembentukan *droplet* pada berbagai konsentrasi etanol menghasilkan *droplet* dengan berbagai ukuran seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2. Pada gambar 4.2 merupakan foto *droplet* biodiesel minyak biji randu (E0) dalam berbagai variasi tekanan ruang bakar. Hasil pembentukan *droplet* secara keseluruhan menghasilkan diameter *droplet* berkisar antara 1,40-1,68 mm yang disajikan pada lampiran 1.



Gambar 4.2 Diameter *droplet* E0 pada berbagai variasi tekanan

Pengukuran diameter *droplet* seperti yang tampak pada gambar 4.2 menggunakan *software* autocad. Gambar *droplet* secara utuh seperti tampak pada gambar 4.3 diperbesar sampai ukuran 1 mm garis di autocad memiliki panjang yang sama dengan 1 mm di penggaris pada ruang uji bakar sehingga ukuran gambar menjadi ukuran yang sebenarnya (aktual).



Gambar 4.3 Ruang Uji Bakar

#### 4.2 Data Hasil Pengujian Karakteristik Pembakaran Biodiesel Minyak Biji Randu

Data hasil pengujian karakteristik biodiesel minyak biji randu dengan etanol dalam ruang bertekanan meliputi temperatur pembakaran, *burning rate*, *ignition delay*, tinggi api dan lebar api. Selain itu dalam penelitian ini diambil juga data karakteristik pembakaran *droplet* minyak diesel murni (tanpa campuran) dalam berbagai variasi tekanan ruang bakar sebagai data pembandingan.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian pembakaran *droplet* terhadap temperatur maksimum

Konsentrasi	Temperatur Maksimum (°C)				
	1 atm	2 atm	3 atm	4 atm	5 atm
E0	583.20	580.13	610.74	635.10	560.22
E10	609.60	660.14	610.66	632.00	577.08
E20	509.65	593.34	567.52	529.71	574.64
E30	512.81	528.96	518.26	521.43	539.43
E40	581.91	644.42	682.61	678.63	617.64
Diesel	477.50	510.85	541.11	506.14	503.70

Tabel 4.2 Data hasil pengujian pembakaran *droplet* terhadap *ignition delay*

Konsentrasi Etanol (%)	Ignition Delay (s)				
	1 atm	2 atm	3 atm	4 atm	5 atm
0	3.98	4.52	4.22	3.96	4.14
10	3.5	5	5.44	4.84	4.34
20	3.22	3.4	4.76	4.76	4.46
30	3.52	5.28	3.46	4.98	4.4
40	3.36	3.36	3.58	3.42	3.38
Diesel	3.76	3.98	3.74	4.32	3.94

Tabel 4.3 Data hasil pengujian pembakaran *droplet* terhadap *burning rate*

Konsentrasi Etanol (%)	Burning Rate (mm <sup>2</sup> /s)				
	1 atm	2 atm	3 atm	4 atm	5 atm
0	0.99	1.49	1.63	1.76	2.60
10	0.93	1.34	2.24	1.79	2.74
20	1.19	1.14	2.68	3.08	2.37
30	1.02	2.42	1.67	3.07	2.71
40	1.26	1.02	1.22	1.27	1.77
Diesel	2.36	1.88	1.82	1.38	1.32

Tabel 4.4 Data hasil pengujian pembakaran *droplet* terhadap tinggi api

Konsentrasi Etanol (%)	Tinggi Api (mm)				
	1 atm	2 atm	3 atm	4 atm	5 atm
0	36.19	69.69	66.63	68.27	59.27
10	51.45	67.31	67.63	66.07	61.06
20	51.33	62.52	67.3	67.04	64.92
30	47.81	64.78	65.15	62.55	50.83
40	25.43	46.12	41.31	52.51	53.52
Diesel	52.62	62.41	68	68.79	65

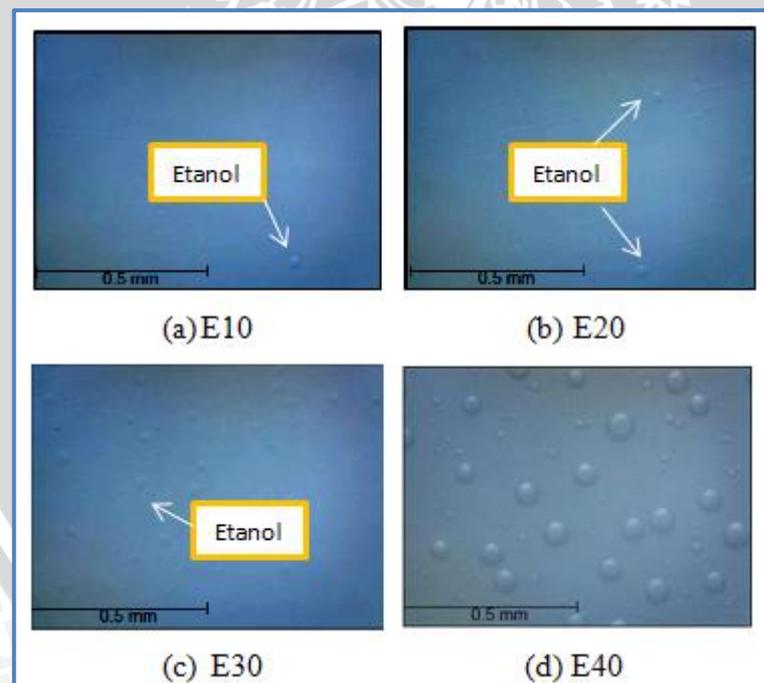
Tabel 4.5 Data hasil pengujian pembakaran *droplet* terhadap lebar api

Konsentrasi Etanol (%)	Lebar Api (mm)				
	1 atm	2 atm	3 atm	4 atm	5 atm
0	5.03	3.95	3.6	3.78	3.22
10	5.08	3.98	3.48	3.29	2.93
20	4.51	4.05	3.47	3.12	3.18
30	4.84	3.75	3.56	2.87	3.04
40	4.12	4.19	3.51	3.44	3.14
Diesel	5.89	4.84	4.55	4.12	3.6

### 4.3 Analisa dan Pembahasan

#### 4.3.1 Visualisasi Campuran Biodiesel dan Etanol

Setelah dilakukan pengambilan data karakteristik pembakaran *droplet* biodiesel minyak biji randu, diperlukan data pendukung berupa gambar visualisasi pencampuran biodiesel minyak biji randu dengan etanol seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3.

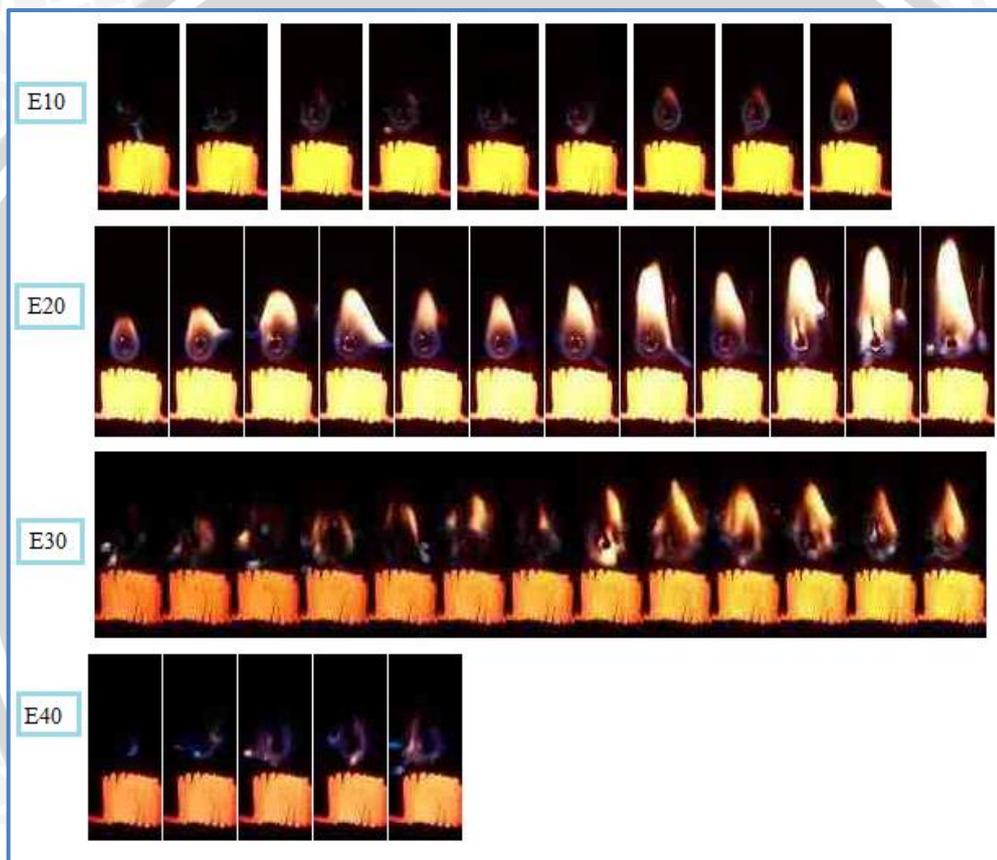


Gambar 4.4 Visualisasi gambar campuran biodiesel minyak biji randu dan etanol pada berbagai konsentrasi

Pengambilan visualisasi gambar campuran biodiesel minyak biji randu dengan etanol menggunakan mikroskop digital. Terlihat pada gambar 4.3 bahwa semakin besar penambahan etanol pada minyak biodiesel biji randu maka semakin banyak gelembung-

gelembung etanol yang muncul. Selain itu, ukuran gelembung etanol juga semakin besar dan persebarannya semakin merata. Hal tersebut menunjukkan bahwa campuran biodiesel minyak biji randu masih bisa bercampur pada konsentrasi etanol di bawah 30% . Sedangkan pada konsentrasi etanol 30% dan 40% bahwa intensitas gelembung semakin banyak dan merata

Adanya gelembung-gelembung etanol di dalam minyak biodiesel dapat menyebabkan terjadinya *microexplosion* akibat dari perbedaan titik didih antara etanol dan biodiesel minyak biji randu. Hal tersebut terlihat dari visualisasi api pada gambar 4.4.



Gambar 4.5 *Microexplosion* pada Biodiesel Minyak Biji Randu dan Etanol

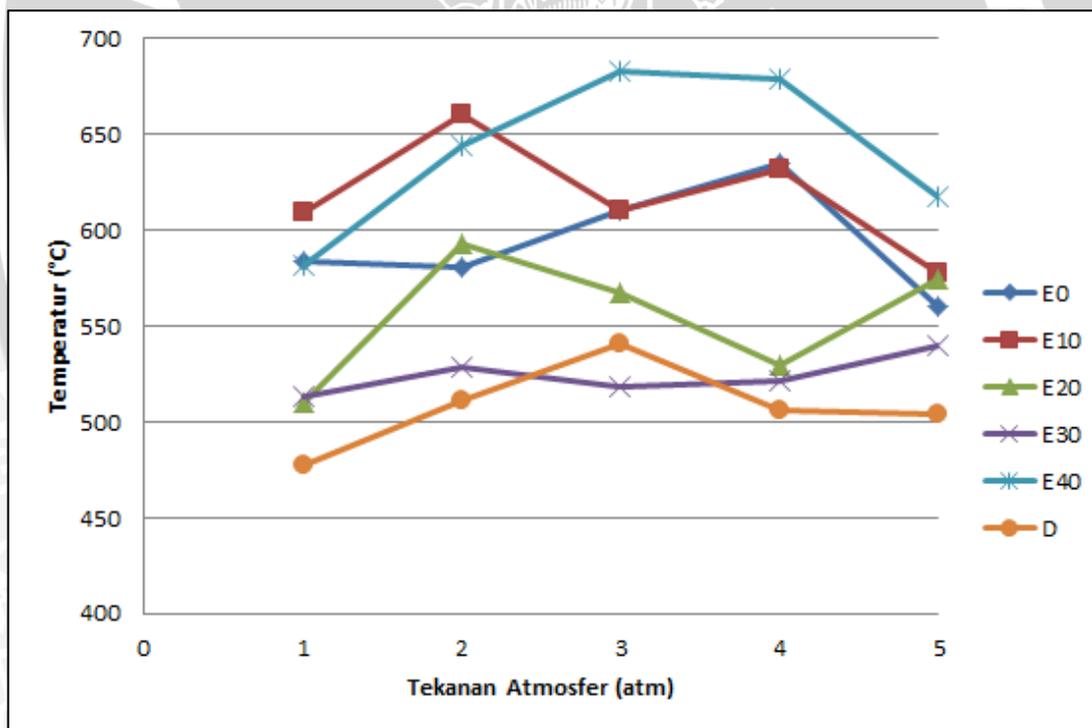
Gambar 4.4 menunjukkan terjadinya *microexplosion* pada setiap konsentrasi etanol pada tekanan 1 atm . Terlihat pada gambar 4.4 bahwa pada E10, E20, E30 dan E40 dalam biodiesel menunjukkan semakin tinggi konsentrasi etanol, semakin tinggi intensitas *microexplosion*. Pada E10, E20 dan E30 rentang waktu *microexplosion* lebih panjang karena konsentrasi etanol di dalam *droplet* masih sedikit dibandingkan dengan konsentrasi biodiesel sehingga gas-gas etanol di dalam *droplet* membutuhkan waktu lama untuk keluar dari *droplet*. Berbeda dengan konsentrasi etanol 40 % yang rentang

waktu *microexplosion* lebih singkat karena konsentrasi etanol dalam *droplet* cukup tinggi sehingga gas-gas etanol lebih mudah untuk keluar dari *droplet*.

Pada gambar 4.4 juga memperlihatkan bahwa semakin besar besar konsentrasi etanol yang ditambahkan pada biodiesel minyak biji randu maka warna api akan semakin biru yang menandakan bahwa proses pembakaran yang terjadi adalah pembakaran miskin. Selain itu ketika konsentrasi etanol semakin besar maka tegangan permukaan *droplet* menjadi semakin rendah karena nilai dari viskositas etanol kecil sehingga memudahkan etanol untuk keluar dari *droplet* selama pembakaran berlangsung.

#### 4.3.1 Grafik Pengaruh Konsentrasi Etanol dan Tekanan Ruang Bakar terhadap Temperatur Maksimum

Pengaruh konsentrasi etanol dan tekanan bahan bakar terhadap temperatur maksimum biodiesel minyak biji randu ditunjukkan pada gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.6 Grafik pengaruh konsentrasi etanol dan tekanan ruang bakar terhadap temperatur maksimum biodiesel minyak biji randu

Gambar 4.5 menjelaskan pengaruh hubungan konsentrasi etanol dan tekanan ruang bakar terhadap temperatur maksimum biodiesel minyak biji randu. Temperatur maksimum adalah temperatur tertinggi api pada saat proses pembakaran berlangsung. Tampak pada gambar 4.5 pada konsentrasi E0 temperatur maksimum cenderung naik

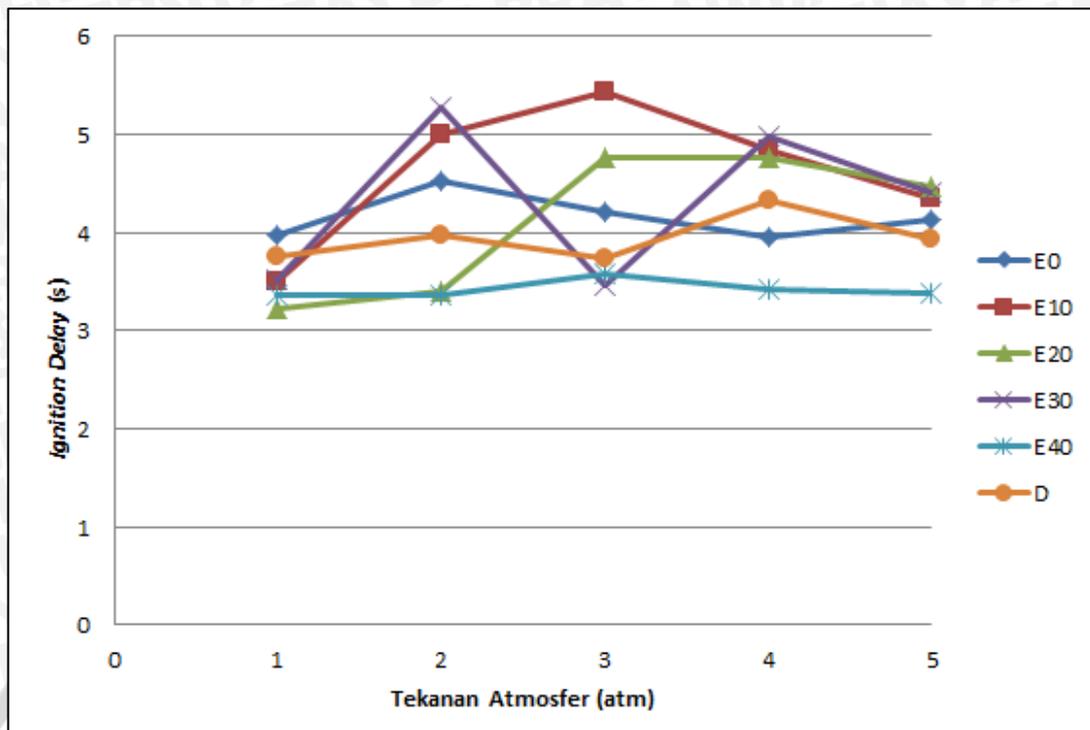
sampai 4 atm kemudian mengalami penurunan di 5 atm. Sedangkan pada E10 terjadi penurunan temperatur maksimum seiring dengan bertambahnya tekanan ruang bakar. Sebaliknya pada E20, E30 dan E40 terjadi peningkatan temperatur maksimum seiring dengan meningkatnya tekanan ruang bakar.

Kenaikan temperatur pada E0 pada tekanan atmosfer 2, 3 dan 4 atm dikarenakan penambahan tekanan yang mengakibatkan kenaikan temperatur droplet sehingga temperatur pembakaran naik. Sedangkan penurunan temperatur pembakaran di 5 atm disebabkan karena sebagian dari droplet bahan bakar sudah ada yang menguap terlebih dahulu, sehingga massa *droplet* semakin kecil sehingga temperatur maksimum pembakaran semakin menurun. Pada konsentrasi etanol 10% (E10) terjadi penurunan temperatur maksimum dikarenakan etanol yang memiliki titik didih rendah menguap terlebih dahulu sehingga mengakibatkan ukuran *droplet* menurun sehingga temperatur maksimum bahan bakar juga ikut menurun.

Pada E20, E30 dan E40 temperatur pembakaran meningkat disebabkan karena pada *ignition delay* yang ditunjukkan pada gambar 4.7 lebih singkat sehingga mengurangi jumlah etanol yang menguap terlebih dahulu sehingga ukuran *droplet* tidak berkurang secara signifikan. Hal tersebut yang mengakibatkan temperatur maksimum cenderung mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya tekanan. Selain itu faktor yang lain adalah bahwa dengan semakin meningkatnya tekanan bahan bakar maka temperatur di dalam *droplet* menjadi semakin bertambah.

#### **4.3.2 Grafik Pengaruh Konsentrasi Etanol dan Tekanan Ruang Bakar terhadap *Ignition Delay***

Pengaruh konsentrasi etanol dan tekanan bahan bakar terhadap *ignition delay* biodiesel minyak biji randu ditunjukkan pada gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.7 Grafik pengaruh konsentrasi etanol dan tekanan ruang bakar terhadap *ignition delay* biodiesel minyak biji randu

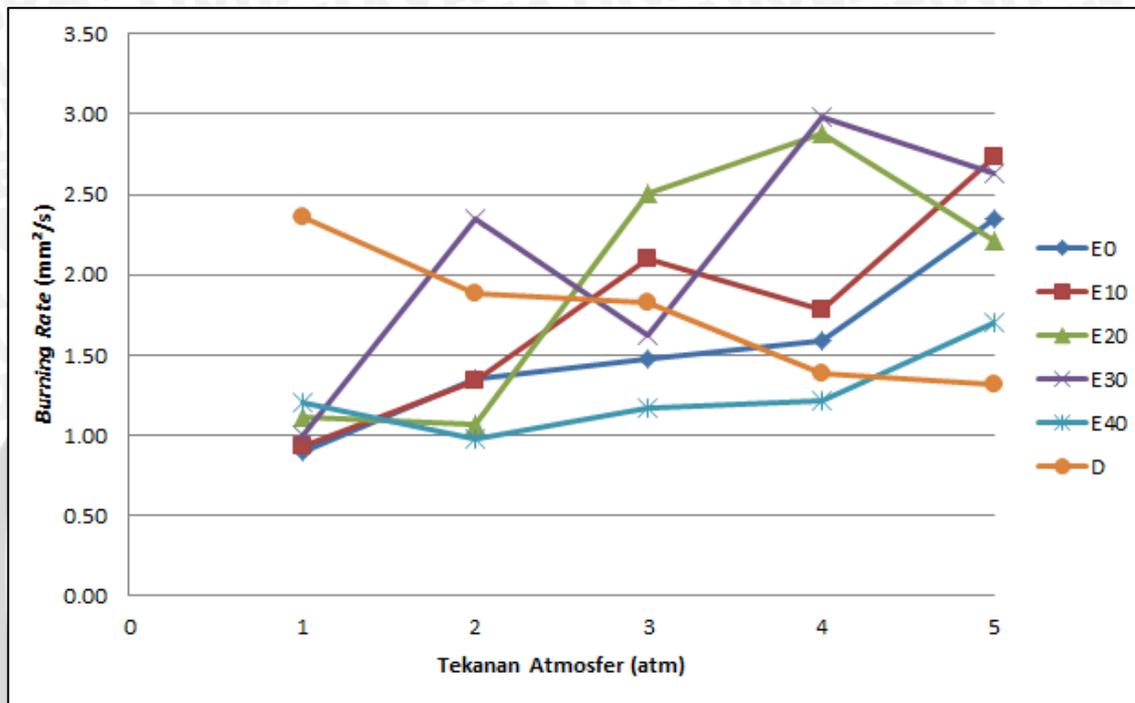
Gambar 4.7 menjelaskan pengaruh hubungan konsentrasi etanol dan tekanan ruang bakar terhadap waktu *ignition delay* biodiesel minyak biji randu. Secara umum pada semua konsentrasi etanol mengalami peningkatan *ignition delay* seiring bertambahnya tekanan ruang bakar kecuali pada E40 yang memiliki waktu *ignition delay* yang stabil.

Peningkatan waktu *ignition delay* karena temperatur pembakaran temperatur heater belum mencapai boiling point dari biodiesel, sedangkan etanol berada di dalam tidak cukup mampu keluar *droplet* karena dengan bertambahnya tekanan ruang bakar tegangan permukaan dari *droplet* semakin tinggi. Hal tersebut ditunjukkan pada gambar 4.7 di grafik E10, E20 dan E30 yang memiliki waktu *ignition delay* yang cenderung naik.

Pada konsentrasi E40, waktu *ignition delay* cenderung stabil dikarenakan konsentrasi etanol yang lebih tinggi sehingga waktu yang dibutuhkan etanol untuk *microexplosion* lebih pendek. Hal tersebut bisa ditunjukkan dari bentuk gelembung-gelembung etanol dalam campuran biodiesel pada gambar 4.4, dimana gelembung lebih besar daripada gelembung etanol pada E10, E20 dan E30. Ukuran gelembung yang lebih besar tersebut mengakibatkan semakin mudahnya etanol untuk memecah *droplet* sehingga terjadi *microexplosion*.

### 4.3.3 Grafik Pengaruh Konsentrasi Etanol dan Tekanan Ruang Bakar terhadap *Burning Rate*

Pengaruh konsentrasi etanol dan tekanan bahan bakar terhadap *burning rate* biodiesel minyak biji randu ditunjukkan pada gambar 4.4 berikut



Gambar 4.8 Grafik pengaruh konsentrasi etanol dan tekanan ruang bakar terhadap *burning rate* biodiesel minyak biji randu

Grafik pada gambar 4.7 menunjukkan pengaruh pencampuran konsentrasi etanol dan tekanan ruang bakar terhadap *burning rate* biodiesel minyak biji randu. Terlihat pada gambar 4.7 bahwa semakin bertambahnya tekanan ruang bakar maka *burning rate* meningkat pada berbagai konsentrasi etanol. Bila dilihat dari kecenderungan garis maka *burning rate* tertinggi dimiliki oleh biodiesel minyak biji randu dengan etanol sebesar 30% (E30) disusul dengan E20, E10, E0 dan E40.

Pada pembakaran biodiesel biji minyak randu 100% (E0), *burning rate* meningkat karena dengan adanya kenaikan tekanan akan meningkatkan temperatur yang membuat waktu pembakaran semakin cepat sesuai dengan rumus *burning rate* sebagai berikut.

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

Dimana :

$K$  = *burning rate*

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

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

$t$  = waktu (detik)

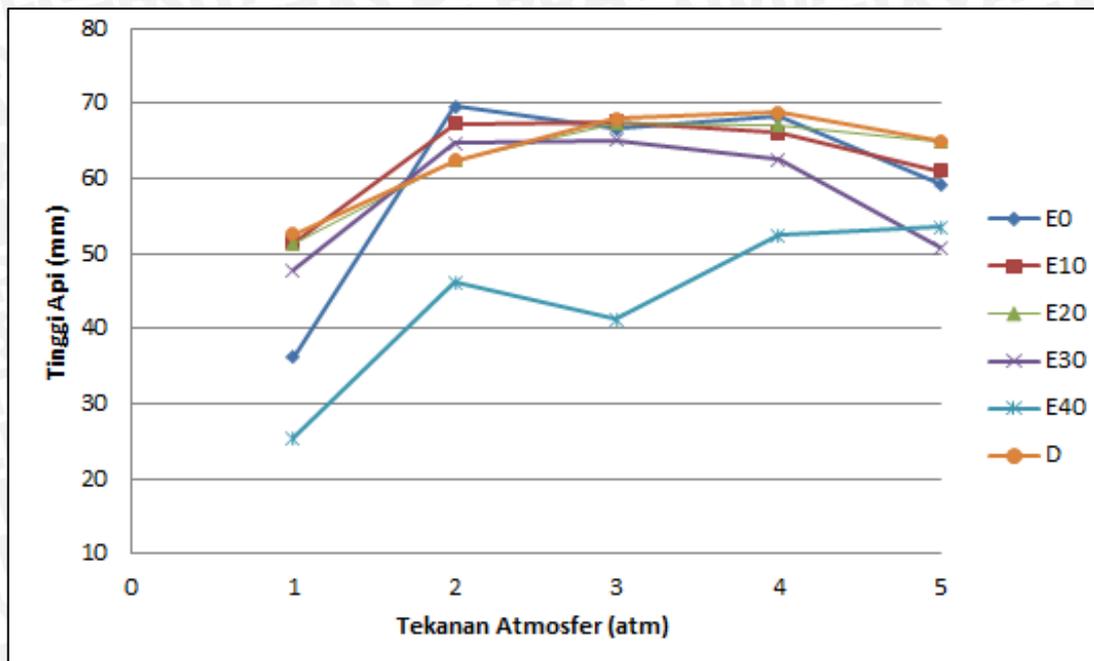
Dimana waktu pembakaran akan semakin cepat apabila temperatur naik. Selain itu dengan temperatur yang tinggi maka akan semakin tinggi pula laju penguapan bahan bakar sehingga diameter *droplet* akan berkurang sehingga meningkatkan *burning rate*.

Pada konsentrasi etanol 10%, peningkatan *burning rate* diakibatkan karena adanya kandungan oksigen yang terkandung dalam etanol sehingga udara untuk pembakaran tersedia lebih banyak di dalam *droplet*. Oksigen yang terkandung dalam *droplet* mampu meningkatkan kecepatan pembakaran. Selain itu dengan penambahan etanol maka kemungkinan terjadinya *microexplosion* juga semakin meningkat, dimana *microexplosion* mengakibatkan *droplet* menjadi pecah sehingga membatu proses penguapan dan pembakaran. Hal tersebut juga berlaku pada konsentrasi etanol 20% dan 30% yang memiliki kadar etanol yang lebih banyak sehingga timbulnya *microexplosion* meningkat yang menyebabkan *burning rate* ikut meningkat.

Pada konsentrasi etanol 40% (E40) terjadi peningkatan *burning rate* seiring meningkatnya tekanan namun pada kadar etanol 40% memiliki nilai *burning rate* yang lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi etanol lainnya. Hal tersebut disebabkan karena berkurangnya intensitas *microexplosion* seperti yang terlihat pada gambar 4.3 karena sebagian besar etanol berada di permukaan daripada yang berada di dalam *droplet*. Selain itu karena etanol berada di permukaan *droplet* maka etanol semakin mudah untuk menguap sehingga kadar etanol yang tersisa di dalam *droplet* sedikit sehingga

#### **4.3.4 Grafik Pengaruh Konsentrasi Etanol dan Tekanan Ruang Bakar terhadap Dimensi Api**

Pengaruh konsentrasi etanol dan tekanan ruang bakar terhadap dimensi api berupa tinggi dan lebar api minyak biodiesel biji randu ditunjukkan seperti pada gambar 4.9 dan gambar 4.11 berikut.

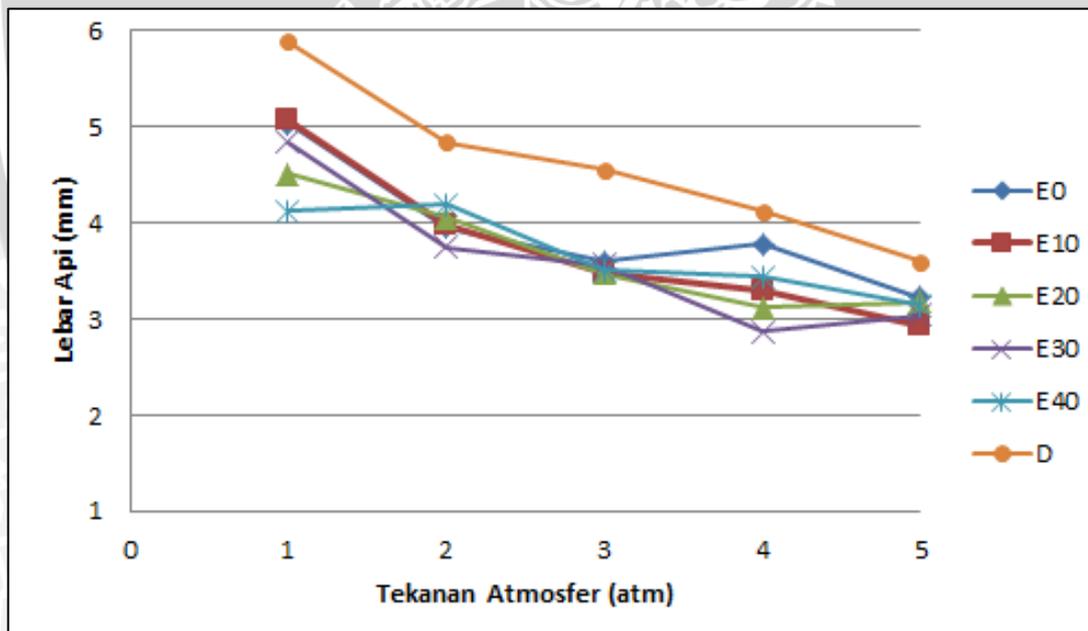


Gambar 4.9 Grafik pengaruh konsentrasi etanol dan tekanan ruang bakar terhadap tinggi api biodiesel minyak biji randu

Grafik pada gambar 4.9 menjelaskan pengaruh hubungan konsentrasi etanol dan tekanan ruang bakar terhadap tinggi api biodiesel minyak biji randu. Secara umum tinggi api meningkat seiring bertambahnya tekanan ruang bakar pada berbagai konsentrasi etanol. Pada konsentrasi etanol 0% (E0), tinggi api semakin meningkat seiring bertambahnya tekanan hal itu diakibatkan karena semakin besar tekanan yang diberikan maka berat jenis bahan bakar akan semakin kecil sehingga gas hasil penguapan *droplet* pada fase pemanasan dapat dengan mudah bergerak ke atas sehingga api akan semakin tinggi.

Pada E10, ketinggian api juga semakin meningkat seiring bertambahnya tekanan karena penambahan tekanan meningkatkan temperatur penyalaan *droplet* sehingga akan semakin cepat fase cair *droplet* berubah menjadi fase gas. Dengan adanya penambahan tekanan, densitas gas bahan bakar menjadi semakin kecil sehingga memudahkan bahan bakar untuk bergerak ke atas membuat api semakin tinggi. Hal tersebut juga berlaku untuk E20, E30 dan E40. Selain itu, alasan yang lain adalah karena adanya *microexplosion* dari bahan bakar seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3 terlihat bahwa di awal proses pembakaran api mengeluarkan letupan-letupan yang berupa etanol akibat dari perbedaan titik didih. Etanol yang keluar dari api berupa fase gas secara otomatis akan naik ke atas yang membuat api semakin tinggi.

Tampak pada gambar 4.9 bahwa tinggi api terendah adalah nyala api dari minyak biodiesel dengan campuran etanol 40%, meskipun kecenderungan grafik pada setiap kenaikan tekanan terus meningkat. Dibandingkan dengan diesel, E40 memiliki tinggi api yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan diesel dan campuran konsentrasi etanol lainnya. Hal tersebut dikarenakan jumlah etanol yang terkandung di dalam *droplet* semakin banyak, dimana etanol memiliki kandungan air di dalamnya. Kandungan air yang terkandung dalam bahan bakar akan menguap terlebih dahulu ketika *droplet* dipanaskan yang menyebabkan ukuran *droplet* yang terbakar semakin kecil. Semakin kecilnya ukuran *droplet* yang terbakar maka tinggi api yang dihasilkan semakin rendah. Namun dikarenakan tekanan yang tinggi yang mengakibatkan temperatur di dalam *droplet* yang tinggi, sehingga tidak hanya air saja yang menguap tapi juga etanol yang berada di permukaan *droplet* juga ikut menguap ke atas karena densitas bahan bakar yang kecil. Sampai pada akhirnya bahan bakar mencapai temperatur penyalaan yang membakar bahan bakar termasuk gas etanol yang berada di atasnya.



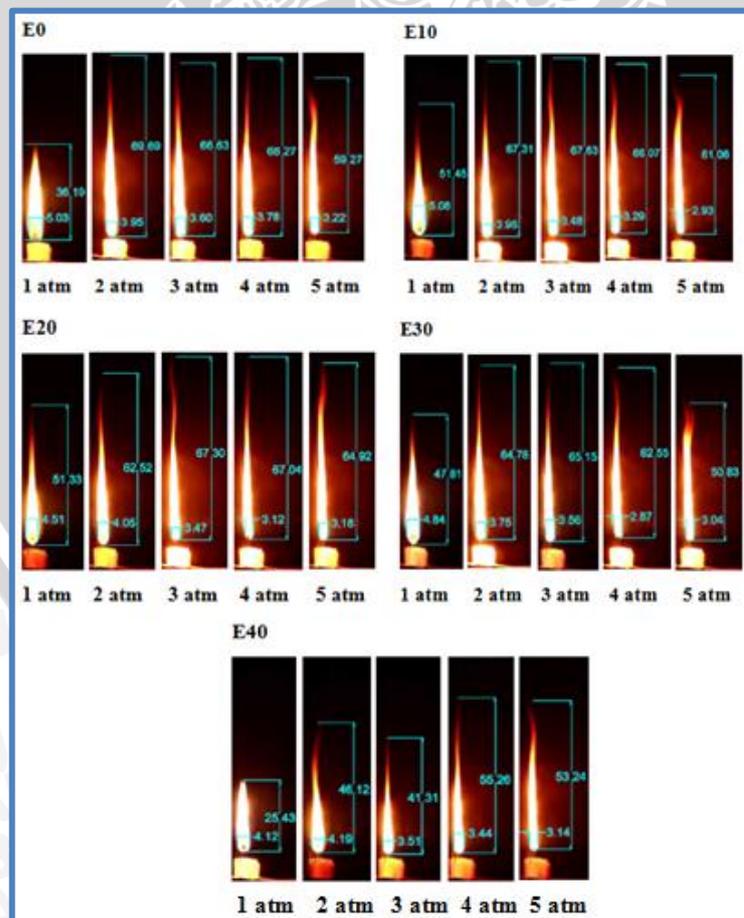
Gambar 4.10 Grafik pengaruh konsentrasi etanol dan tekanan ruang bakar terhadap lebar api biodiesel minyak biji randu

Gambar 4.10 merupakan grafik yang menunjukkan hubungan konsentrasi etanol dan tekanan ruang bakar terhadap lebar api dimana lebar api yang diambil adalah lebar api pada nyala api tertinggi. Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa semakin besar konsentrasi tekanan ruang bakar maka lebar api semakin kecil pada berbagai

konsentrasi pencampuran etanol. Hal tersebut juga ditunjukkan pada dimensi lebar api pada gambar 4.10. Terlihat bahwa semakin bertambahnya tekanan ruang bakar lebar api semakin kecil. Dibandingkan dengan lebar api minyak diesel, maka semua lebar api campuran minyak biji randu dengan etanol masih berada di bawah dari lebar api minyak diesel.

Pada proses pembakaran lebar api yang semakin sempit mengindikasikan bahwa kecepatan reaksi pembakaran yang tinggi sehingga tidak membutuhkan daerah reaksi yang luas. Pada pembakaran biodiesel minyak biji randu 100% (E0), lebar api semakin kecil seiring peningkatan tekanan ruang bakar karena semakin meningkatnya tekanan maka temperatur dalam droplet juga ikut meningkat sehingga proses pembakaran terjadi semakin cepat yang membuat luas daerah reaksi yang dibutuhkan menjadi semakin sempit.

Sedangkan pada pembakaran campuran biodiesel dengan etanol pada semua konsentrasi, lebar api semakin menyempit juga dikarenakan penambahan etanol yang menambah jumlah oksigen di dalam *droplet* yang mengakibatkan semakin cepat proses pembakaran berlangsung. Sehingga lebar api menjadi semakin kecil.



Gambar 4.10 Dimensi api pada berbagai konsentrasi etanol dan tekanan