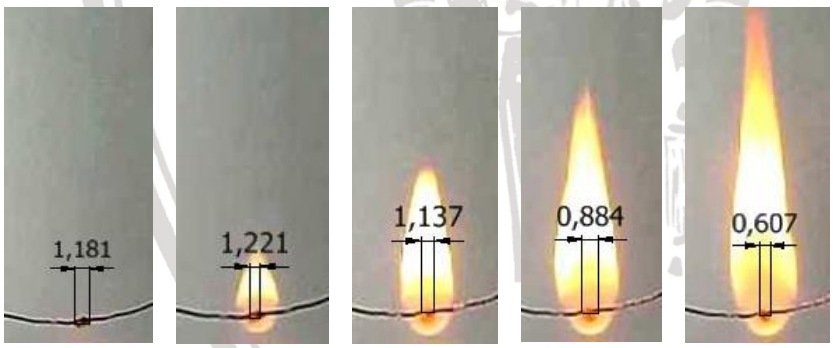
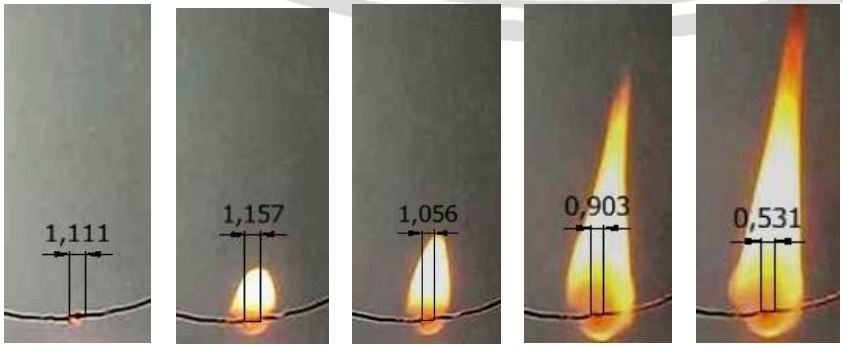
BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Pembakaran Droplet

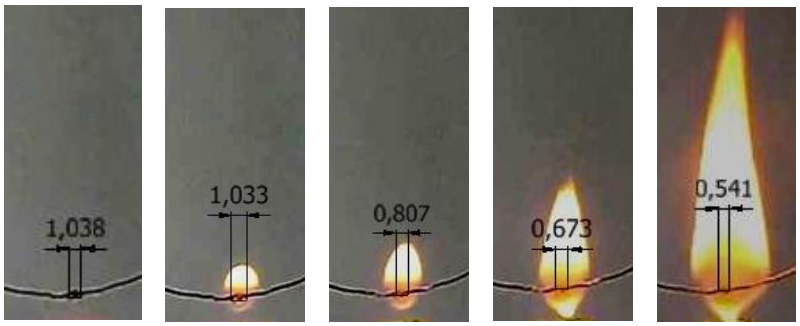
Pada penelitian ini langkah pertama yang dilakukan adalah pembentukan *droplet* dengan campuran katalis minyak cengkeh dan karbon aktif masing-masing sebesar 0 ppm, 100 ppm, dan 300 ppm terhadap 50 gr minyak kapuk randu. Kemuadian *droplet* diletakkan diatas *thermocouple* yang berjarak 2,5 cm di atas *heater*. Data yang diperoleh dari penelitian ini adalah data kecepatan pembakaran *droplet* yang diukur berdasarkan perubahan besar diameter dari diameter awal *droplet* sampai *droplet* mengecil dan terbakar habis pada masing-masing sampel. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software* imageJ untuk mendapatkan ukuran diameter pada setiap sample pengujian. Contoh data pengukuran perubahan diameter *droplet* yang diperoleh pada masing-masing sampel dengan satuan milimeter (mm) dapat terlihat pada Gambar 4.1 hingga Gambar 4.7.



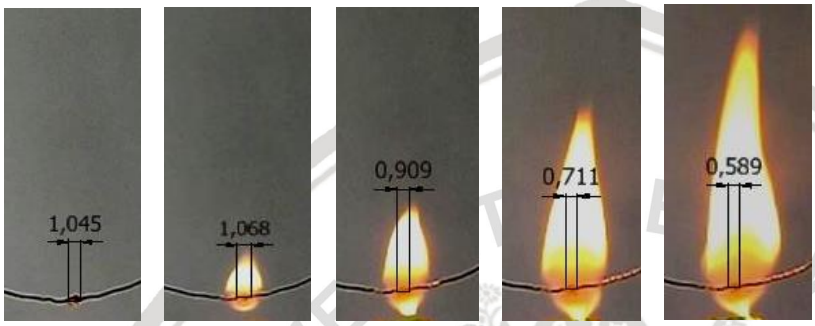
Gambar 4.1 Perubahan diameter *droplet* minyak kapuk randu 0 ppm



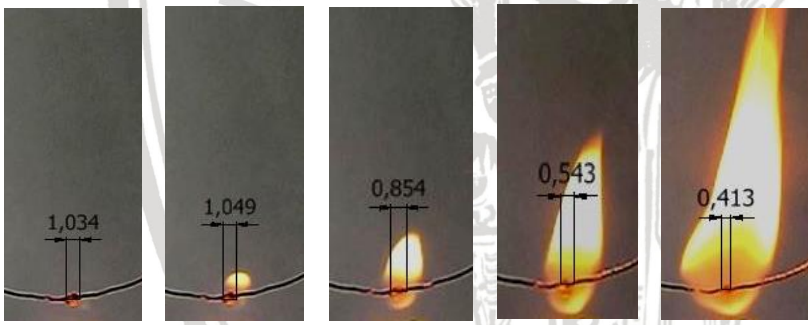
Gambar 4.2 Perubahan diameter *droplet* minyak kapuk randu dengan 100 ppm minyak cengkeh



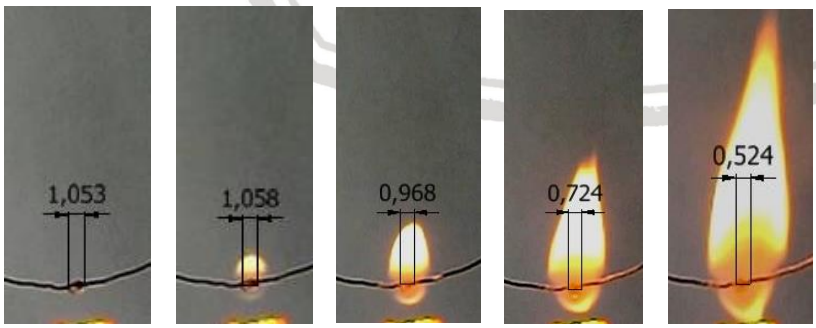
Gambar 4.3 Perubahan diameter *droplet* minyak kapuk randu dengan 300 ppm minyak cengkeh



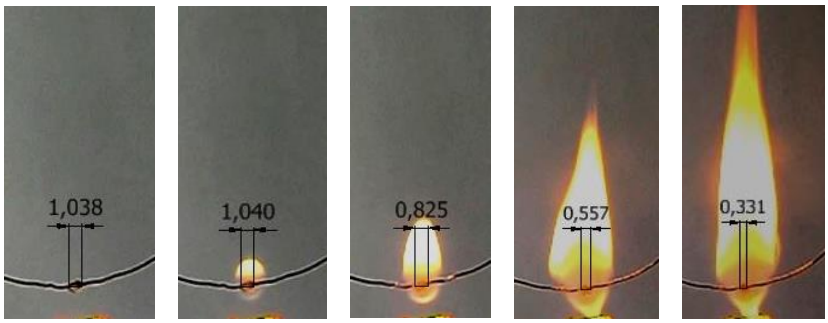
Gambar 4.4 Perubahan diameter *droplet* minyak kapuk randu dengan 100 ppm karbon aktif



Gambar 4.5 Perubahan diameter *droplet* minyak kapuk randu dengan 300 ppm karbon aktif



Gambar 4.6 Perubahan diameter *droplet* minyak kapuk randu dengan 100 ppm minyak cengkeh dan 100 ppm karbon aktif



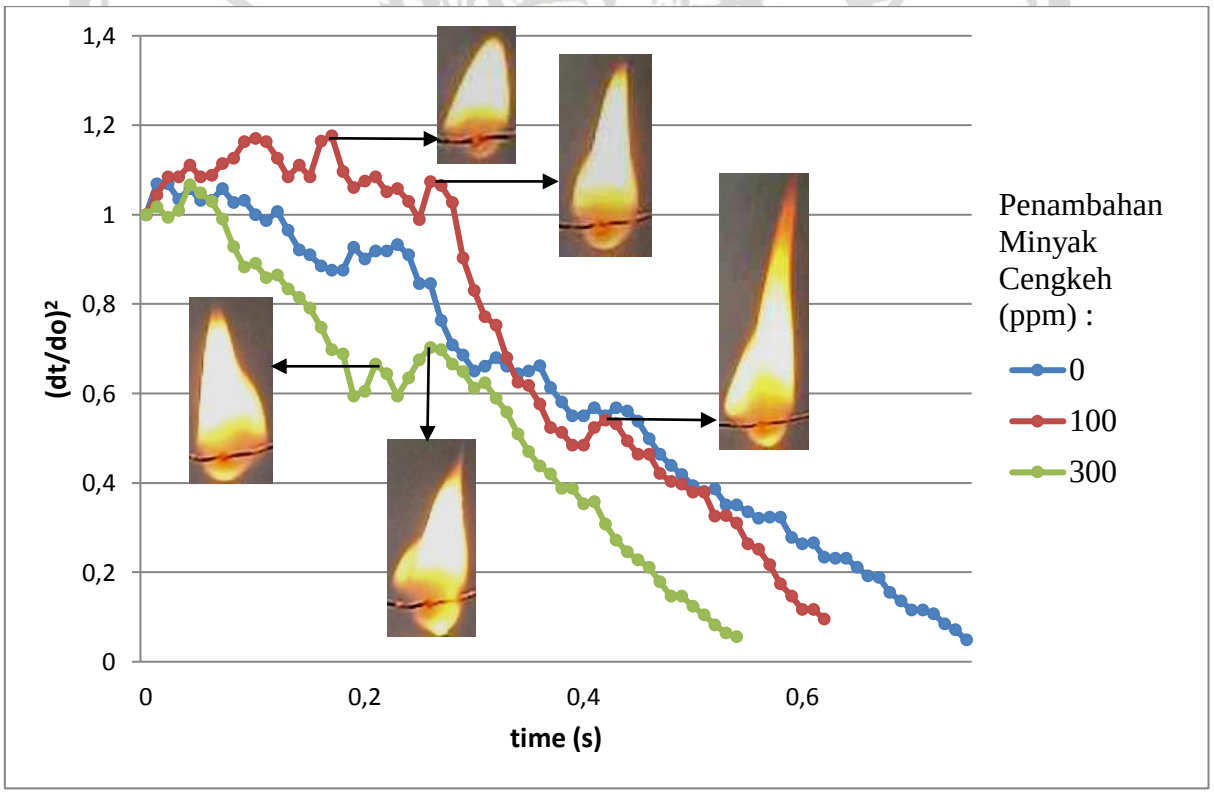
Gambar 4.7 Perubahan diameter *droplet* minyak kapuk randu dengan 300 ppm minyak cengkeh dan 300 ppm karbon aktif

4.1.1 Data Hasil Penelitian

(Data Terlampir)

4.2 Analisis dan Pembahasan

4.2.1 Pengaruh Penambahan Minyak Cengkeh Terhadap Kecepatan Api Pembakaran *Droplet* Minyak Kapuk Randu



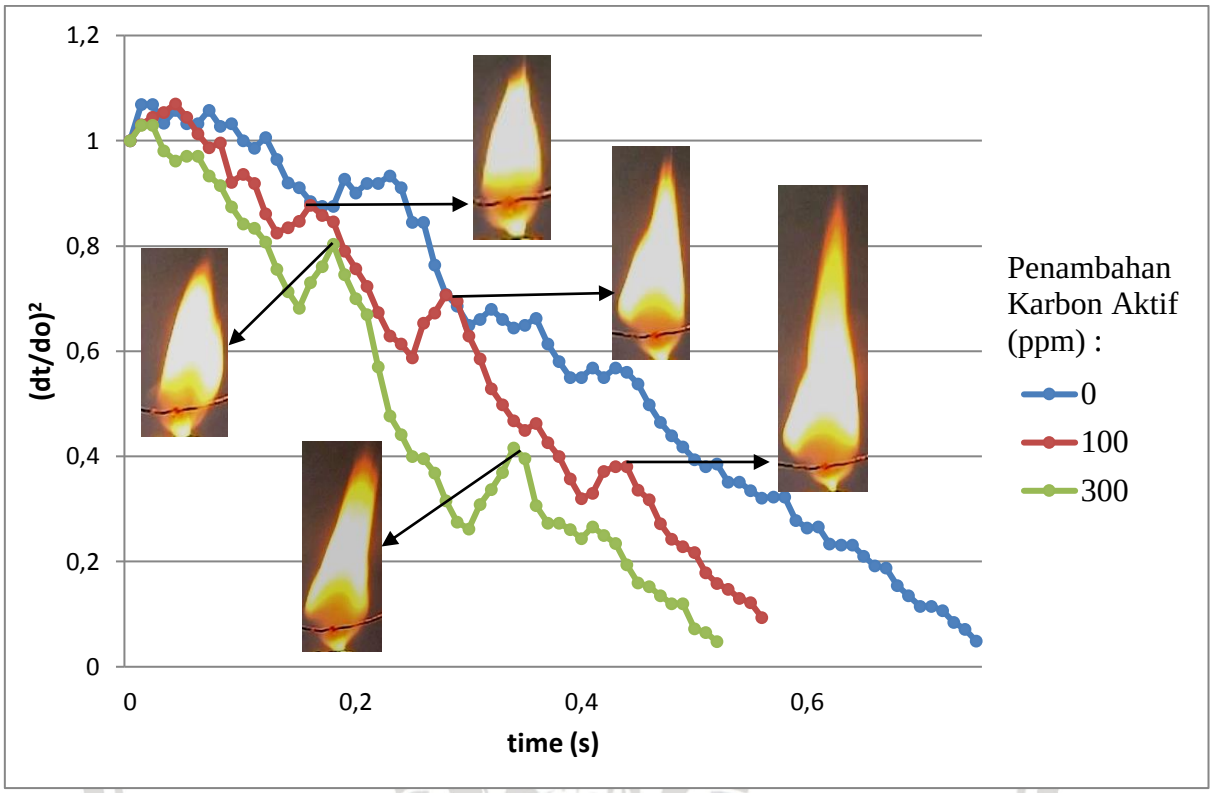
Gambar 4.8 Perbandingan kecepatan reaksi pembakaran minyak kapuk randu terhadap variasi penambahan konsentrasi minyak cengkeh

Pada gambar 4.8 terlihat bahwa kecepatan api pembakaran pada penambahan 300 ppm minyak cengkeh lebih cepat dibandingkan minyak kapuk randu tanpa campuran

minyak cengkeh sedangkan pada penambahan 100 ppm minyak cengkeh mengalami pemuaian di awal yang ditandai dengan diameter droplet yang meningkat. Hal tersebut dikarenakan minyak cengkeh memiliki medan magnet yang akan mempengaruhi pergerakan elektron dari minyak kapuk randu sehingga ikatan asam lemak minyak kapuk randu akan merenggang atau memutus ikatan yang dapat mempengaruhi kecepatan reaksi pembakaran. Medan magnet pada 100 ppm minyak cengkeh lebih lemah karena jumlah yang lebih sedikit daripada medan magnet 300 ppm minyak cengkeh. Hal tersebut mengakibatkan pada penambahan 100 ppm minyak cengkeh medan magnet hanya melemahkan ikatan molekul asam lemak sehingga saat proses pembakaran akan terjadi daya tarik menarik secara periodik dan mengakibatkan diameter *droplet* meningkat. Sedangkan pada penambahan 300 ppm minyak cengkeh, medan magnet yang ada lebih kuat sehingga mampu memutus ikatan molekul asam lemak, ikatan asam lemak yang sudah terputus membutuhkan energi aktivasi yang lebih kecil untuk bereaksi. Sehingga hal tersebut membuktikan bahwa dengan seiring bertambahnya konsentrasi minyak cengkeh sebagai katalis dapat mempercepat reaksi pembakaran minyak kapuk randu karena energi aktivasi yang dibutuhkan semakin sedikit.

Selain itu pada gambar 4.8 juga terlihat adanya kenaikan diameter pada titik tertentu setelah adanya penurunan diameter, hal tersebut diakibatkan oleh terjadinya *microexplosion* yang dikarenakan terdapat perbedaan *boiling point* dari macam-macam asam lemak penyusun minyak kapuk randu. Saat energi panas yang diberikan semakin meningkat, asam lemak dengan *boiling point* rendah akan lebih mudah menguap dan membentuk gelembung di dalam *droplet*, kemudian gelembung tersebut pecah sehingga membentuk percikan api samping. Percikan api di samping tersebut yang dikenal sebagai *microexplosion* (Rosyadi, 2014).

4.2.2 Pengaruh Penambahan Karbon Aktif Terhadap Kecepatan Api Pembakaran *Droplet* Minyak Kapuk Randu



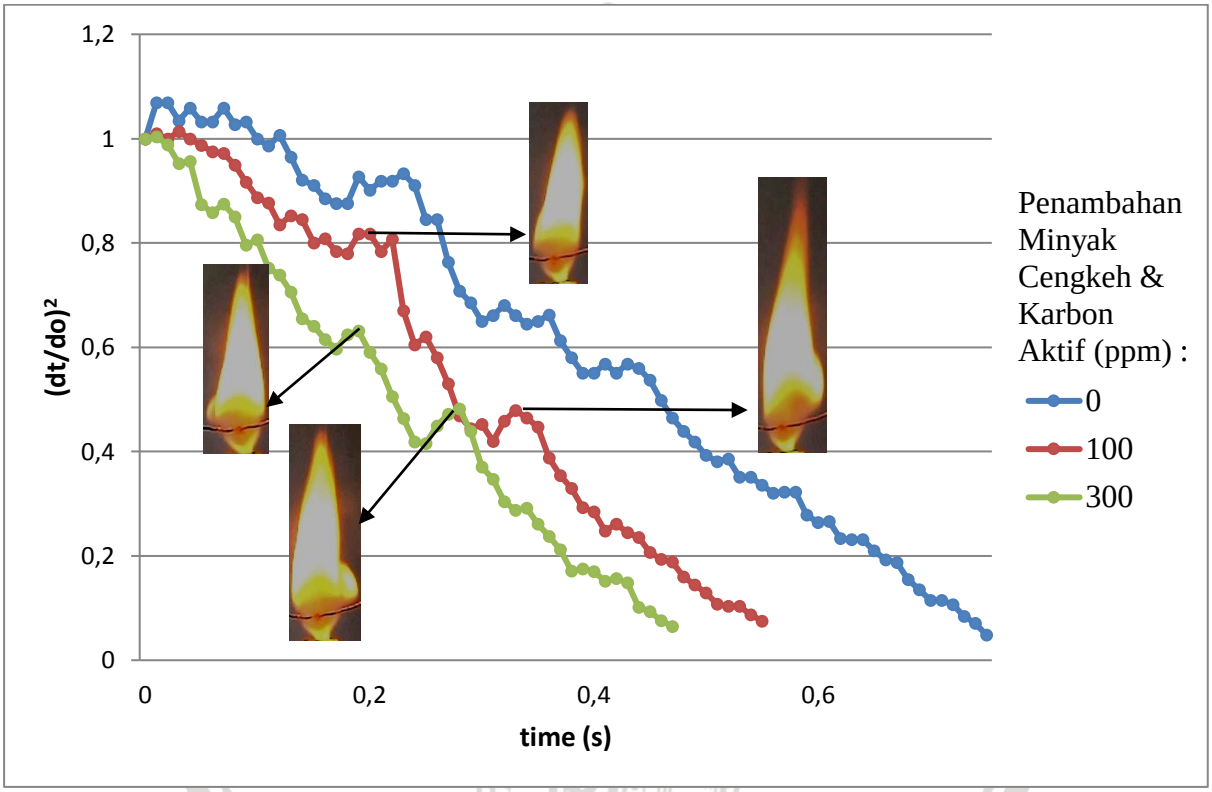
Gambar 4.9 Perbandingan kecepatan reaksi pembakaran minyak kapuk randu terhadap variasi penambahan konsentrasi karbon aktif.

Pada gambar 4.9 terlihat bahwa reaksi pembakaran yang paling cepat terjadi adalah pada campuran minyak kapuk randu dengan 300 ppm karbon aktif. Sama halnya dengan penambahan minyak cengkeh, semakin bertambahnya konsentrasi karbon aktif pada minyak kapuk randu akan semakin mempercepat reaksi pembakaran *droplet* karena energi aktivasi yang dibutuhkan minyak kapuk randu untuk bereaksi dengan oksigen saat pembakaran semakin kecil.

Pada gambar 4.9 juga dapat terlihat bahwa perubahan diameternya cenderung tidak konstan. Hal tersebut dikarenakan partikel karbon aktif memiliki medan magnet yang kuat yang dapat memutus ikatan hidrokarbon asam lemak dan menarik sebagian besar atom karbon dan sebagian atom hidrogen yang terlepas kemudian membentuk gumpalan yang disebut alotrop *graphane*, gumpalan partikel ini jika diberi energi panas akan menguap dan mengakibatkan terjadinya *microexplosion*. *Microexplosion* yang terjadi ini ditandai dengan semakin meningkatnya diameter *droplet* pada titik tertentu. Setelah terjadinya

microexplosion, perubahan diameter cenderung menurun secara signifikan hal tersebut dikarenakan asam lemak yang sudah terputus ikatannya akan menurunkan energi aktivasi dan lebih mudah bereaksi saat proses pemanasan sehingga waktu proses pembakaran juga semakin cepat.

4.2.3 Pengaruh Penambahan Minyak Cengkeh dan Karbon Aktif Terhadap Kecepatan Api Pembakaran *Droplet* Minyak Kapuk Randu

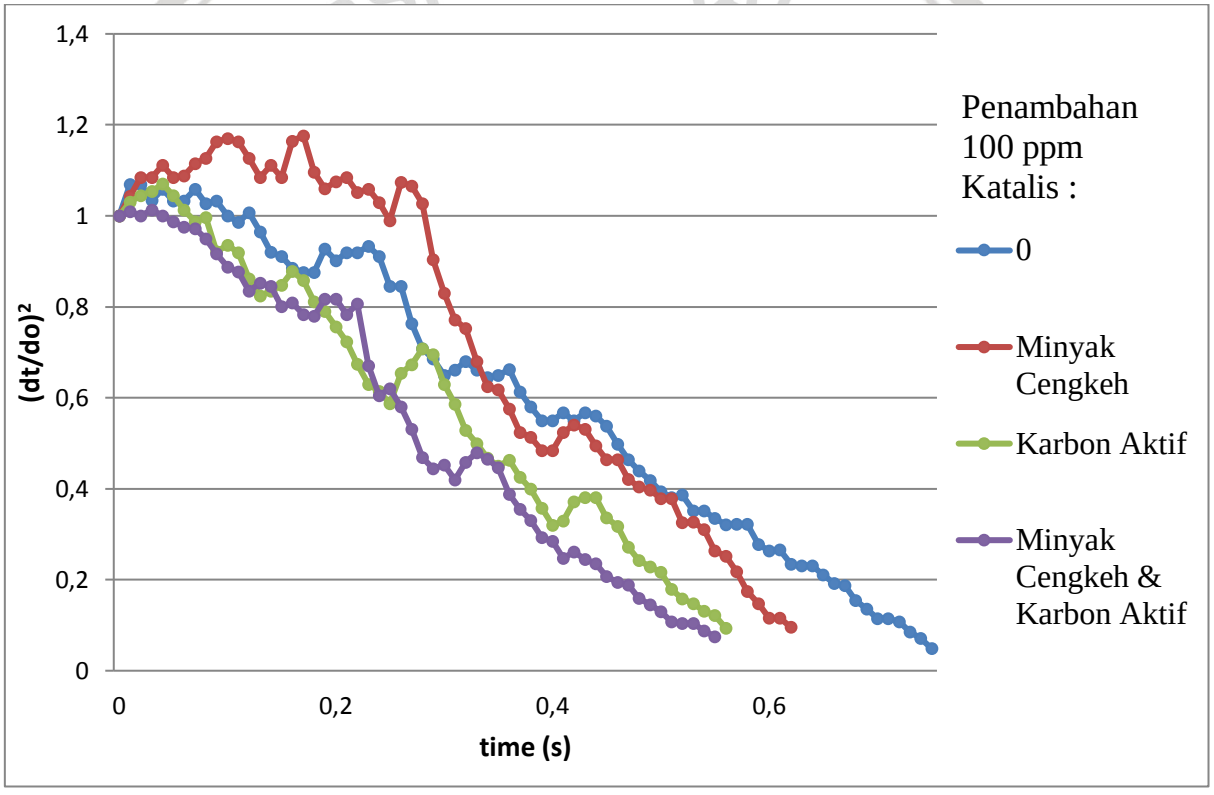


Gambar 4.10 Perbandingan kecepatan reaksi pembakaran minyak kapuk randu terhadap variasi penambahan konsentrasi campuran minyak cengkeh dan karbon aktif.

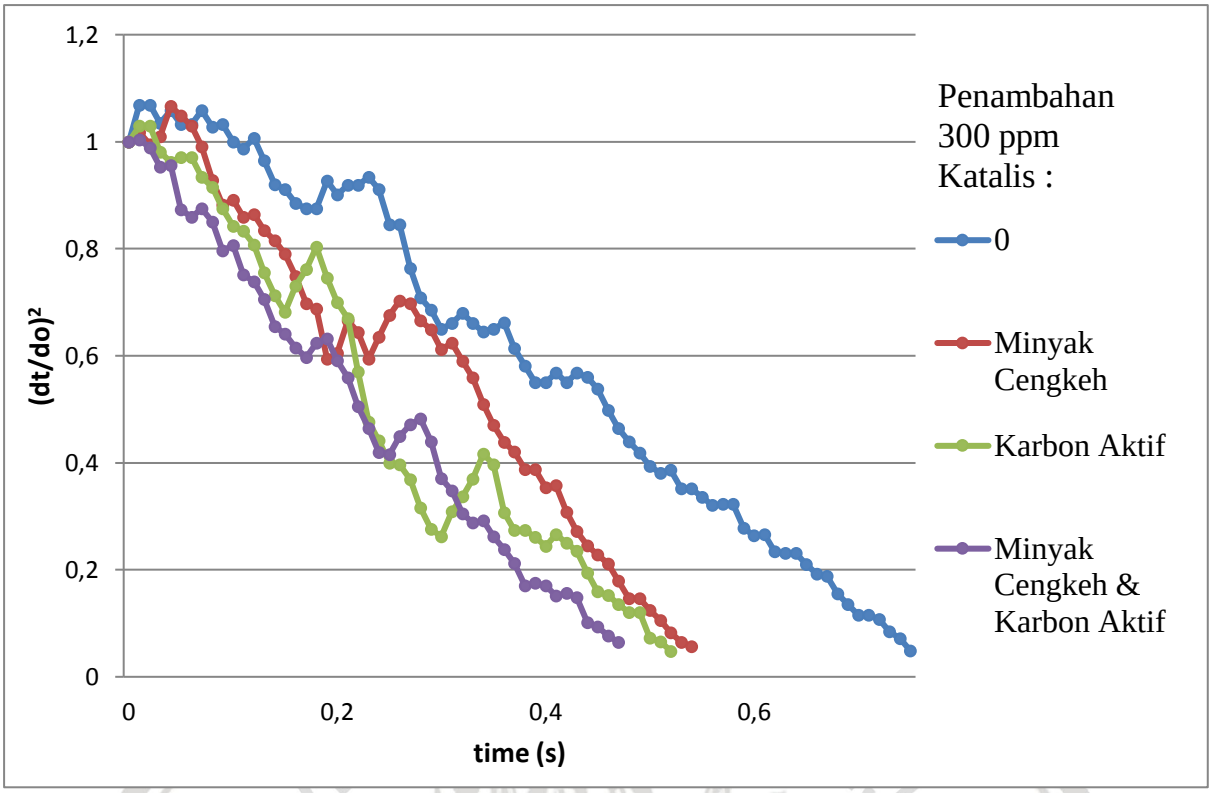
Pada gambar 4.10 yang menunjukkan perbandingan kecepatan pembakaran minyak kapuk randu tanpa katalis dengan kecepatan pembakaran dengan penambahan kedua katalis. Reaksi kecepatan api pembakaran yang paling cepat dapat dilihat dari penurunan grafik yang lebih terjal dan penurunan diameter yang lebih cepat dari grafik ditunjukkan oleh pencampuran minyak kapuk randu dengan 300 ppm minyak cengkeh dan karbon aktif. Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan penambahan variasi katalis akan lebih mempercepat reaksi pembakaran dikarenakan energi aktivasi yang dibutuhkan lebih kecil dikarenakan pencampuran minyak cengkeh dan karbon aktif dengan konsentrasi yang lebih banyak mempengaruhi struktur dari minyak kapuk randu lebih merata dimana medan

magnet yang ada lebih besar, sehingga ikatan pada minyak kapuk randu lebih mudah terputus dan mengakibatkan energi aktivasi yang dibutuhkan lebih kecil untuk mempercepat reaksi pembakarannya. Pada gambar diatas, baik pada penambahan 100 ppm maupun 300 ppm kedua katalis terlihat pada awal pembakaran tidak terjadi pemuaian, hal tersebut dikarenakan ikatan yang ada pada asam lemak sudah terputus secara merata akibat medan magnet yang ada pada minyak cengkeh dan karbon aktif, sehingga saat proses oksidasi langsung terjadi penguapan yang ditandai dengan diameter droplet yang langsung menurun.

4.2.4 Pengaruh Variasi Penambahan Minyak Cengkeh dan Karbon Aktif Pada Konsentrasi Yang Sama Terhadap Kecepatan Api Pembakaran *Droplet* Minyak Kapuk Randu



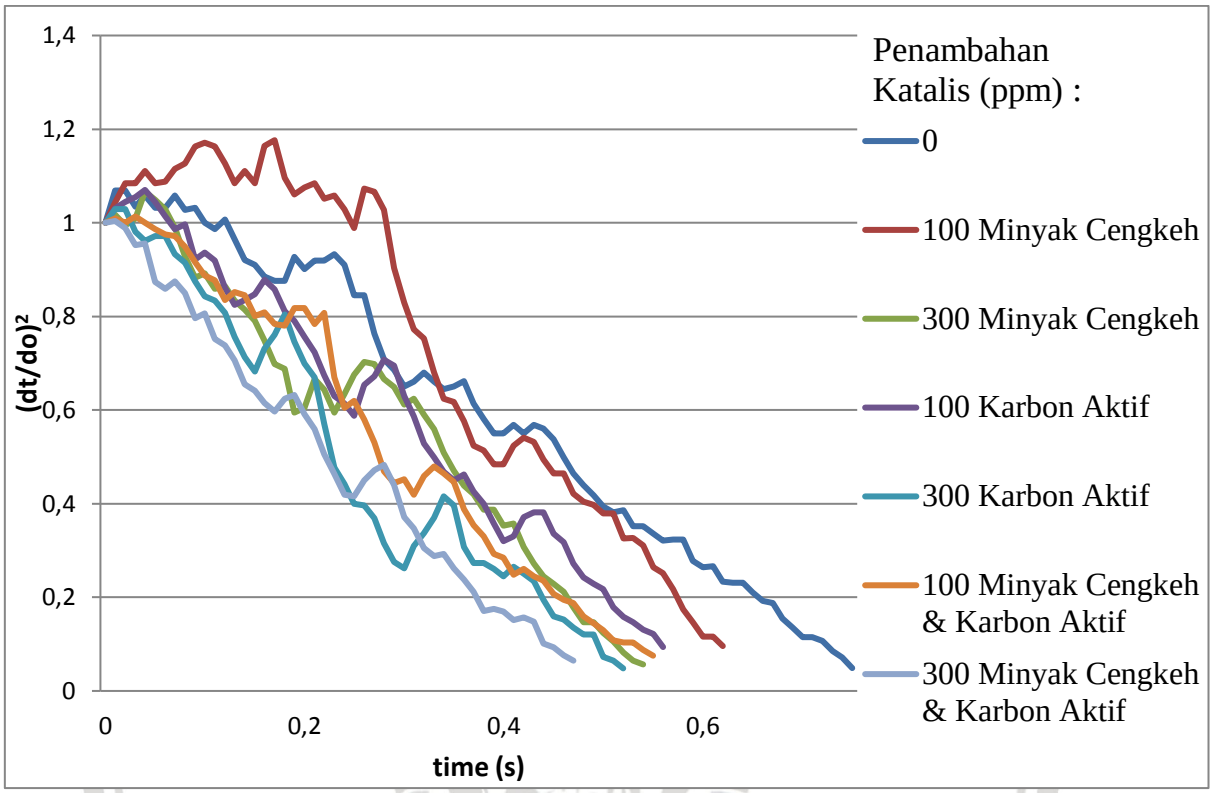
Gambar 4.11 Perbandingan kecepatan reaksi pembakaran terhadap variasi penambahan katalis pada konsentrasi yang sama 100 ppm terhadap minyak kapuk randu.



Gambar 4.12 Perbandingan kecepatan reaksi pembakaran terhadap variasi penambahan katalis pada konsentrasi yang sama 300 ppm terhadap minyak kapuk randu.

Pada gambar terlihat perbandingan kecepatan api pembakaran tanpa katalis dengan penambahan katalis dapat diketahui urutan kecepatan api pembakaran yang paling cepat terjadi pada penambahan katalis campuran minyak cengkeh dan karbon aktif dengan bentuk grafik yang lebih curam kemudian penambahan katalis minyak cengkeh dan yang terakhir adalah penambahan katalis karbon aktif. Hal tersebut terjadi karena penambahan katalis minyak cengkeh dan karbon aktif memiliki medan magnet yang lebih banyak. Selain itu perubahan diameter pada campuran minyak cengkeh dan karbon aktif cenderung menurun secara konstan dibandingkan dengan penambahan satu katalis, hal tersebut dikarenakan saat proses awal pemanasan, ikatan yang ada minyak kapuk randu sudah mulai terputus yang dipengaruhi oleh medan magnet dari minyak cengkeh dan karbon aktif dan saat energi panas meningkat, pemuaian yang terjadi sudah tidak terlalu signifikan sehingga kecepatan api pembakaran terlihat lebih cepat dibandingkan dengan yang lain. *Microexplosion* pada pencampuran minyak cengkeh dan karbon aktif lebih sedikit terjadi, dikarenakan medan magnet yang kuat yang dimiliki kedua komponen tersebut hampir mempengaruhi seluruh kandungan asam lemak minyak kapuk randu, sehingga ikatan asam lemak pada kapuk randu langsung terputus dan tidak mengakibatkan terjadinya penguapan di dalam *droplet*.

4.2.5 Pengaruh Variasi Penambahan Minyak Cengkeh dan Karbon Aktif Pada Kecepatan Reaksi Pembakaran Minyak Kapuk Randu



Gambar 4.13 Pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan karbon aktif pada kecepetan reaksi pembakaran minyak kapuk randu.

Pada gambar 4.13 melihat perbandingan antara penambahan katalis minyak cengkeh dan karbon aktif dengan penambahan kosentrasi 100 ppm dan 300 ppm dengan tidak adanya penambahan katalis pada minyak kapuk randu. Semakin cepat api pembakaran ditandai dengan kecenderungan bentuk atau kemiringan grafik dari perubahan diameter droplet yang lebih curam. Untuk mengetahui lebih pasti nilai kecepatan pembakaran diperlukan perhitungan yaitu dengan mensubstitusikan burning lifetime dan diameter *droplet* ke persamaan (2-2). Contoh perhitungan kecepatan pembakaran *droplet* minyak kapuk randu dengan penambahan 0 ppm katalis:

$$Kc = -\left(\frac{Dt^2 - Do^2}{t}\right)$$

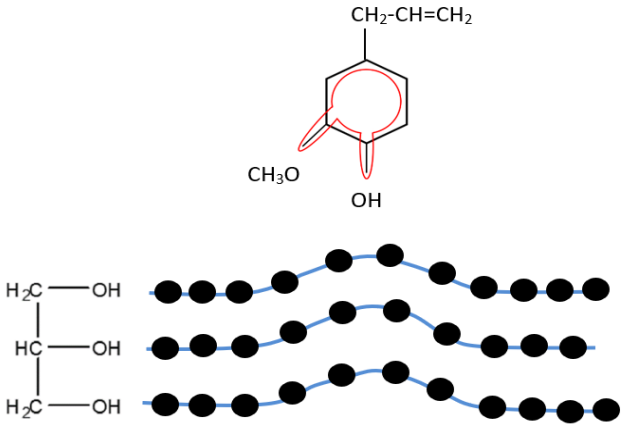
$$Kc = -\left(\frac{0{,}261^2 - 1{,}181^2}{0{,}75}\right)$$

$$Kc = 1{,}76 \text{ mm}^2/\text{s}$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan kecepatan pembakaran untuk penambahan 100 ppm minyak cengkeh adalah 1,79 mm^2/s; 300 ppm minyak cengkeh adalah 1,88 mm^2/s; 100 ppm karbon aktif adalah 1,76 mm^2/s; 300 ppm karbon aktif adalah 1,95 mm^2/s; 100 ppm katalis campuran adalah 1,86 mm^2/s, dan 300 ppm katalis campuran adalah 2,14 mm^2/s. Pada gambar terlihat campuran minyak kapuk randu dengan 300 ppm katalis campuran minyak cengkeh dan karbon aktif terjadi penurunan lebih signifikan dan dari hasil perhitungan juga memiliki nilai kecepatan pembakaran yang paling tinggi yang menunjukkan kecepatan pembakaran paling cepat dibandingankan dengan campuran yang lain. Hal tersebut terjadi karena campuran minyak cengkeh dan karbon aktif menghasilkan medan magnet kuat dan lemah yang akan mengakibatkan pergerakan elektron asam lemak minyak kapuk randu menjadi kacau. Saat reaksi pembakaran, kekacauan pergerakan elektron akan menurunkan energi aktivasi minyak kapuk randu, sehingga kecepatan api pembakaran menjadi lebih cepat (Wardana, 2008).

Sedangkan antara penambahan minyak cengkeh dengan penambahan karbon aktif, proses pembakaran lebih cepat terjadi pada penambahan karbon aktif, hal tersebut karena karbon aktif menghasilkan medan magnet yang lebih kuat yang dapat memutus ikatan hidrokarbon minyak kapuk randu. Sedangkan minyak cengkeh menghasilkan medan magnet lemah yang hanya akan mengganggu pergerakan elektron pada minyak kapuk randu dan melemahkan ikatan molekul minyak kapuk randu.

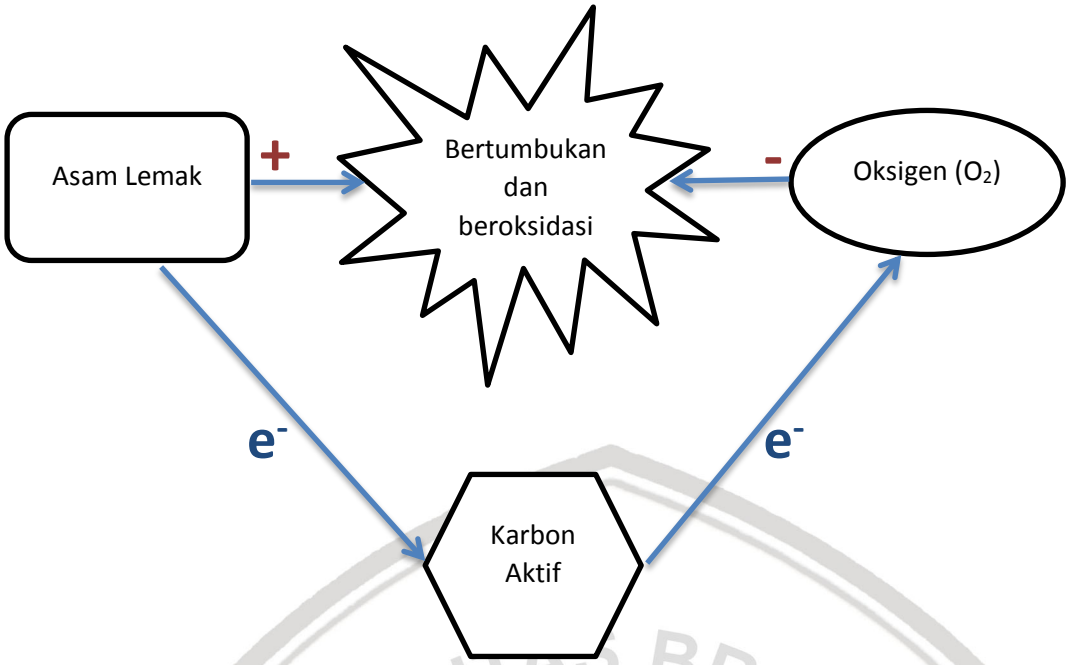
Eugenol pada minyak cengkeh memiliki resonansi pada ikatan karbon siklik yang dapat menghasilkan medan magnet. Medan magnet ini mengganggu pergerakan elektron-elektron pada molekul asam lemak yang mengakibatkan elektron tersebut keluar dari orbitnya sehingga ikatan asam lemak melemah dan saling menjauh satu sama lain seperti yang diilistrasikan pada Gambar 4.14, hal tersebut mengakibatkan ikatan antar molekul asam lemak semakin mudah terputus ketika diberi energi panas.



Gambar 4.14 Pengaruh resonansi eugenol yang menimbulkan medan magnet terhadap ikatan asam lemak
Sumber : Dokumentasi Pribadi (2018)

Elektron yang keluar dari orbit asam lemak tadi mengakibatkan asam lemak hanya memiliki proton dan bermuatan positif. Saat proses pembakaran, oksigen yang ada memiliki keelektronegatifan yan tinggi sehingga dapat menarik elektron berpindah ke oksigen dan oksigen akan lebih bermuatan negatif. Ketika oksigen yang bermuatan negatif bereaksi dengan asam lemak yang bermuatan positif mengakibatkan gaya tarik menarik secara masif. Gaya tarik menarik ini mengakibatkan terjadinya tumbukan antar molekul yang bisa mempercepat reaksi pembakaran.

Pada karbon aktif, medan magnet ada pada alotrop *graphane* serta dari bentuk heksagonal yang dimiliki struktur *grahene* yang dapat memutus ikatan hidrokarbon minyak kapuk randu dengan cara menarik atom karbon yang dimiliki oleh asam lemak. Karena adanya penarikan atom karbon pada asam lemak tersebut meningalkan atom hidrogen menjadi bergerak secara bebas karena terlepas dari ikatan karbon pada asam lemak. Atom hidrogen yang bergerak bebas tersebut sebagian akan ditarik dan berikatan dengan atom karbon pada *graphene* membentuk alotrop *graphane*. Sedangkan atom hidrogen yang tidak berikatan dengan *graphene* akan menjadi radikal bebas. Atom hidrogen yang berikatan dengan atom karbon pada *graphene* akan menimbulkan sifat magnetik pada molekul *graphane* (Jorge, 2016). Dengan terbentuknya *graphane* mengakibatkan karbon aktif memiliki sifat magnetik yang dapat menarik elektron yang ada pada asam lemak.



Gambar 4.15 Perpindahan elektron dan proses oksidasi karbon aktif dengan asam lemak
Sumber : Dokumentasi Pribadi (2018)

Gambar 4.15 menunjukkan ilustrasi dari elektron-elektron pada asam lemak berpindah ke karbon aktif sehingga karbon aktif menjadi kelebihan elektron dan bermuatan negatif. Dan dikarenakan elektron asam lemak berpindah ke karbon aktif mengakibatkan asam lemak hanya memiliki proton dan bermuatan positif. Saat proses pembakaran asam lemak yang bermuatan positif akan bereaksi dengan oksigen yang memiliki beda potensial negatif yang lebih besar, hal tersebut mengakibatkan elektron yang dimiliki karbon aktif bergerak menuju oksigen dan mengakibatkan oksigen memiliki kelebihan muatan negatif. Atom oksigen dengan kelebihan muatan negatif akan mengalami reaksi tarik menarik dengan asam lemak yang hanya memiliki muatan positif. Reaksi tarik menarik tersebut mengakibatkan energi aktivasi yang dibutuhkan semakin kecil sehingga reaksi pembakaran yang terjadi semakin meningkat.