

Identifikasi Radikal Bebas Pada Asap Utama Rokok Dengan Campuran Cengkeh (Kretek) Dan Rokok Tanpa Campuran Cengkeh (Putih)

Identification of Free Radical in Main Stream Cigarette Smoke in Cigarette with Clove mix (Kretek) and Cigarette without Clove mix (White)

Ni Kadek Nova Anggarani¹, D.J. Djoko H.S.², Unggul P. Juswono³

¹ Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia 80361

^{2,3} Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Malang
Email: nova_anggarani@unud.ac.id*, dsantjojo@ub.ac.id, unggul-pj@ub.ac.id

Abstrak – Asap rokok merupakan sumber radikal bebas. Asap rokok merupakan komponen Aerosol maupun Gas bebas yang mengandung sejumlah besar senyawa kimia. Asap rokok dapat dibagi menjadi dua yaitu asap utama dan asap sampingan. Asap utama rokok yang dihirup oleh perokok diketahui dapat menyebabkan penumpukan zat berbahaya dan penyebab stres oksidatif sehingga dilakukan penelitian dengan menggunakan ESR Leybold Heraeus. Sampel yang digunakan merupakan sampel asap dari dua jenis rokok yang populer di Indonesia. Pengukuran dilakukan dengan cara menarik langsung asap ke dalam tabung pengukuran. Kemudian diamati pola resonansi yang terjadi dan dihitung medan magnet eksternal dan nilai faktor Lande nya berdasarkan data frekuensi dan arus. Setelah dilakukan pengukuran ditemukan resonansi pada kedua jenis rokok, pada frekuensi 32,4-70,8 Mhz dan diperoleh nilai faktor Lande yang bervariasi dan bernilai antara 1,9-2,1 dengan dua perolehan nilai yang berada diluar range tersebut yaitu 1,8368; dan 2,2060. Terdapat perbedaan jumlah resonansi yang terjadi untuk masing – masing sampel. Perbedaan ini dapat dikarenakan perbedaan kandungan penyusun dan perbedaan tekstur rokok yang mana dapat mempengaruhi hasil proses pembakaran.

Kata kunci: Asap rokok, ESR, faktor Lande, radikal bebas, resonansi, frekuensi

Abstract – Cigarette smoke is a source of free radicals. Cigarette smoke is a component of Aerosols and free gases that contain large amounts of chemical compounds. Cigarette smoke can be divided into two: main smoke and side smoke. The main smoke of cigarettes inhaled by smokers is known to cause a buildup of harmful substances and causes of oxidative stress so that research is carried out using ESR Leybold Heraeus. The sample used is a smoke sample from two types of cigarettes that are popular in Indonesia. The measurement is done by pulling smoke directly into the measurement tube. Then the resonance pattern is observed and the external magnetic field is calculated and the value of the Lande factor is based on frequency and current data. Measurements result showed resonance in both types of cigarettes, at a frequency of 32.4-70.8 MHz and obtained values of Lande factors that vary and have a value between 1.9-2.1 with two acquisition values that are outside the range that is 1.8368; and 2.2060. There are differences in the number of resonances that occur for each sample. This difference can be due to differences in the constituent of content and the texture of cigarettes which can affect the results of the combustion process.

Key words: Cigarette smoke, ESR, faktor Lande, free radical, resonance, frequency

1. Pendahuluan

Asap rokok merupakan sumber radikal bebas yang terdapat disekitar kita. Asap rokok merupakan komponen aerosol maupun gas bebas yang mengandung sejumlah besar substansi yang dapat mencapai 4700 jenis substansi dan merupakan campuran kompleks. Karakter atau komponen yang dihasilkan dalam pembakaran rokok bergantung pada desain rokok, dan komponen kimia dari bahan baku yang digunakan [1-2]. Pembakaran rokok sendiri dapat menghasilkan dua jenis asap yaitu asap utama dan asap sampingan, asap utama merupakan asap yang dihirup melalui ujung batang rokok dan langsung masuk

ketubuh perokok, sedangkan asap sampingan adalah asap yang berada pada sisi samping rokok yang dekat dengan bara [1-3].

Salah satu komponen yang berbahaya pada asap rokok adalah radikal bebas. Diketahui asap rokok mengandung beberapa pusat radikal bebas, sehingga asap rokok sering kali disebut sebagai sumber radikal bebas pada lingkungan diantaranya adalah senyawa hidrokarbon, NO_x dan radikal dengan pusat oksigen [4]. Kerusakan oksidatif memegang peranan penting dalam pembentukan penyakit yang berkaitan dengan tembakau dan rokok termasuk diantaranya yaitu penyakit jantung, penyakit pernafasan dan kanker [5]. Merokok juga diketahui dapat menyebabkan kematian dan kecacatan pada skala besar [6].

Sebelumnya telah dilakukan penelitian terkait radikal bebas pada asap rokok akan tetapi kebanyakan penelitian sebelumnya melakukan pendeteksian dan pengukuran radikal bebas dengan menggunakan *spin trapping* (PBN). Dimana senyawa dengan elektron bebas diperangkap oleh *spin trapping* dan kemudian terbentuk suatu endapan dan kemudian dianalisa dengan ESR. Penelitian dengan sampel dalam bentuk asap masih sulit ditemukan. Penelitian ini menggunakan sampel dalam bentuk asap untuk dua jenis rokok bukan endapan hasil perangkap *spin trapping*. Asap utama rokok dianalisa disini karena asap ini merupakan asap yang dihirup oleh perokok dan menimbulkan penumpukan senyawa kimia yang reaktif dan bersifat karsinogen pada tubuh penghisap, selain itu asap yang dihirup ini berpotensi menimbulkan stres oksidatif.

2. Landasan Teori

2.1 Efek Zeeman

Pada mekanika kuantum, pergeseran frekuensi dan panjang gelombang dari garis spektrum menunjukkan perubahan tingkat energi satu atau dua tingkat yang berkaitan dengan transisi. Efek Zeeman yang muncul untuk garis spektrum dihasilkan dari transisi antar tahap tunggal yang disebut dengan efek normal, sementara apabila total spin baik pada tahap awal maupun akhir atau keduanya tidak sama dengan nol maka ia disebut dengan efek anomali.

Efek Zeeman normal

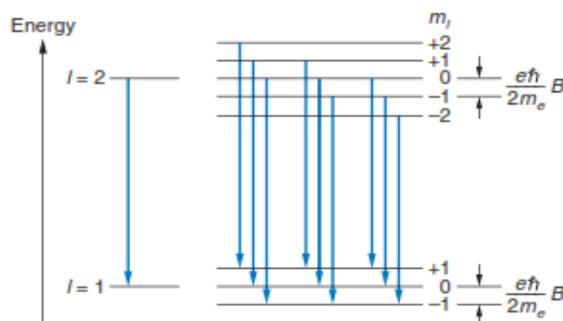
Berlaku untuk tingkat tunggal, spin total $S=0$ dan $J= L+S$ sehingga J sama dengan momentum sudut orbital L . Ketika ditempatkan dalam medan eksternal, energi atom berubah akibat energi momen magnetik pada medan yang mana diberikan oleh

$$\Delta E = -\boldsymbol{\mu} \cdot \mathbf{B} = -\mu_z B \quad 1)$$

Dimana arah Z ditunjukkan oleh arah B dengan nilai $\mu_z = -m_l \mu_B = -m_l \left(\frac{e\hbar}{2m_e} \right)$ dan

$$\Delta E = +m_l \frac{e\hbar}{2m_e} B = m_l \mu_B B \quad 2)$$

Dengan ΔE adalah selisih energi, μ adalah momen magnetik, μ_z adalah momen magnetik pada arah z , μ_B adalah magneton Bohr, m_l adalah bilangan kuantum magnetik l , B adalah medan magnet eksternal, e adalah muatan dasar, m_e adalah massa elektron dan \hbar adalah $h/2\pi$. Karena nilai m_l adalah $2l+1$ maka tiap tingkat energi terpisah menjadi $2l+1$. Pada gambar 1 ditunjukkan pemisahan pada kasus dengan $l = 2$ dan untuk nilai $l = 1$.



Gambar 1. Pemisahan tingkat energi pada efek Zeeman normal untuk tingkat *singlet* $l=2$ dan $l=1$. Tiap tingkat terbagi menjadi sejumlah garis mengikuti persamaan $2l+1$ [7].

Efek Zeeman Anomali

Efek Zeeman anomali muncul ketika spin tahap awal dan akhir tidak sama dengan nol. Perhitungan tingkat energi pemecahan menjadi lebih rumit karena momen magnetik akibat spin dapat bernilai 1 bukan 1/2 dan berakibat momen magnetik totalnya tidak paralel dengan momentum total angular. Pertimbangkan atom dengan momentum angular orbital L dan spin S. sehingga

$$J = L + S \tag{3}$$

Dimana total momen magnetiknya adalah

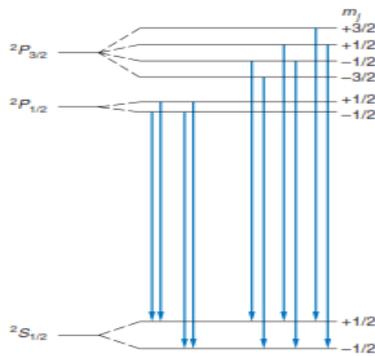
$$\mu = g_l \mu_B \frac{L}{\hbar} - g_s \mu_B \frac{S}{\hbar} \tag{4}$$

Karena $g_l = 1$ dan $g_s = 2$ maka

$$\mu = \frac{\mu_B}{\hbar} (L + 2S) \tag{5}$$

Setiap tingkat energi terpisah menjadi $2j+1$, sebagai akibat dari m_j . tidak seperti kasus pada tingkat tunggal pada efek normal, pemisahan Zeeman ini bergantung pada j, l dan s dan secara umum terdapat lebih dari tiga transisi berbeda akibat tingkat yang lebih tinggi dan tingkat yang lebih rendah terbagi dengan jumlah yang berbeda (gambar 2). pergeseran Energi relatif terhadap posisi dari tingkat energi tanpa medan, dapat dituliskan sebagai

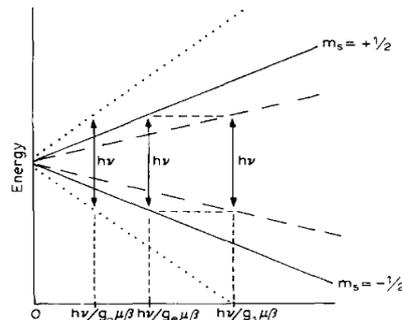
$$\Delta E = g m_j \left(\frac{e\hbar B}{2m_e} \right) = g m_j \mu_B B \tag{6}$$



Gambar 2. Pemisahan tingkat energi dalam medan magnet untuk efek Zeeman anomali [7].

2.2. Electron Spin Resonance

ESR merupakan alat yang digunakan untuk mempelajari molekul dan unsur yang memiliki elektron bebas atau tak berpasangan. Konsep kerjanya berkaitan dengan elektron yang memiliki momen magnetik bernilai tetap dan dipengaruhi oleh medan magnet luar. Ketika diberikan energi elektromagnet *microwave* yang bersesuaian dengan energi pisahnya maka terjadi penyerapan energi oleh sampel dan terjadi resonansi spin akibat frekuensi/energi yang diberikan. Resonansi merupakan keadaan ketika spin elektron menyerap frekuensi yang bersesuaian dan kemudian bertransisi [8].



Gambar 6. Sebaran tingkat energi elektron dalam radikal yang berada dalam medan magnet. Garis tebal menunjukkan radikal normal dengan nilai faktor Lande $g=2$, garis putus – putus menunjukkan spesies dengan $g < 2$ dan garis titik – titik menunjukkan spesies dengan $g > 2$ [9].

Dalam teori kuantum, disebutkan bahwa elektron memiliki sifat yang disebut dengan “spin”. Penggunaan istilah ini disebabkan karena elektron memiliki momentum sudut dan momen magnetik, seperti halnya benda bermuatan yang berotasi [10].

Ketika elektron ditempatkan dalam medan magnet, degenerasi dari energi spin elektron ditunjukkan oleh Gambar 6 dan dijelaskan melalui persamaan hamiltonian spin [11].

$$\hat{H}_s = g\mu_B B \hat{S}_z \quad 7)$$

Tingkat energi spin elektron dapat lebih mudah dipahami dengan mengaplikasikan \hat{H}_s ke spin elektron sebagai fungsi eigen terhadap $m_s = \pm 1/2$, sehingga perbedaan energi antara dua tingkat menjadi:

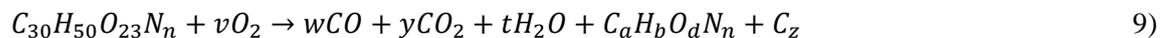
$$\Delta E = E_+ - E_- = g\mu_B B = hv \quad 8)$$

Dimana hv merupakan energi yang dibutuhkan untuk menyebabkan transisi spin elektron [12].

2.2 Pembakaran Rokok

Pembakaran rokok merupakan salah satu contoh sistem pembakaran tak sempurna. Selama proses merokok suhu pada rokok dapat mencapai 950° . Suhu maksimum pembakaran sendiri bergantung pada konsentrasi oksigen dan kandungan penyusun pada tembakau. Produk asap dari rokok dipengaruhi oleh beberapa proses yaitu distilasi tembakau, pembakaran perlahan, pirolisis dan pirosintesis. Terdapat 2800 unsur yang ditemukan pada asap rokok yang mana unsur ini tidak terdapat pada tembakau. Penemuan ini menunjukkan bahwa pirolisis, pirosintesa dan pembakaran memegang peranan penting dalam pembentukan unsur tersebut [13].

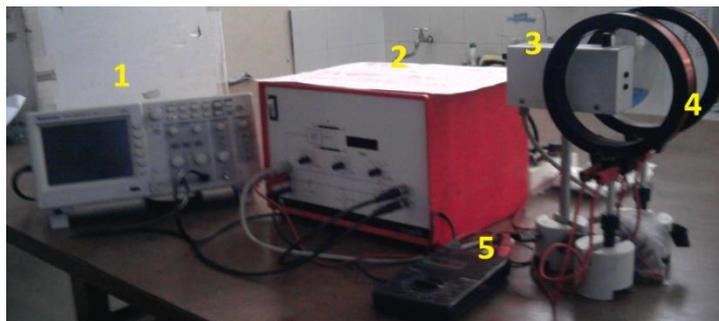
Rokok yang terdiri dari komponen daun tembakau, kertas, dan zat tambahan dapat disusun oleh unsur karbon, nitrogen, oksigen, dan hidrogen. Apabila dituliskan secara sederhana maka reaksi pembakaran yang terjadi ketika rokok terbakar adalah sebagai berikut [14]:



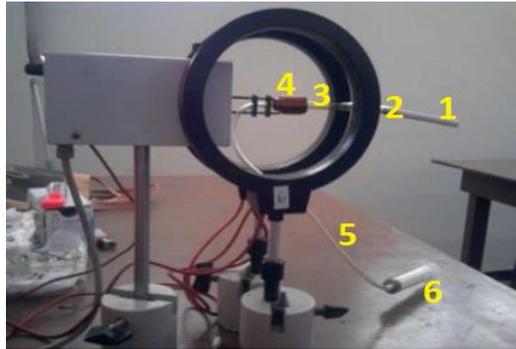
Pirolisis merupakan reaksi yang juga penting dalam pembakaran rokok dimana pada reaksi ini akan terjadi pembentukan ribuan senyawa. Efek pirolisis ini dapat menyebabkan munculnya berbagai variasi reaksi. Dimana pada pirolisis, pecahan senyawa yang terjadi ketika pirolisis akan bereaksi dengan senyawa itu sendiri ataupun dengan senyawa pecahan dari reaksi pirolisis [2].

3. Metode Penelitian/Eksperimen

Penelitian dilakukan dengan menggunakan dua jenis rokok yang populer di Indonesia yaitu rokok cengkeh (kretek) dan rokok tanpa tambahan cengkeh (putih). Rokok yang digunakan merupakan rokok tanpa filter. Tabung pengukuran dari pipet tetes, dua jenis selang dengan ukuran 0,4 cm dan 0,7 cm, penghisap asap berukuran 25 ml (tabung *syringe*) serta satu set ESR Leybold-Heraeus. Sampel yang digunakan adalah sampel dalam fase gas, dimana asap rokok diperoleh dengan cara membakar ujung rokok yang salah satu ujungnya telah tersambung dengan pipa dan penghisap. Sampel asap kemudian ditarik dan ditahan untuk berada pada tabung pengukuran yang terletak ditengah kumparan induksi. Adapun urutan dari susunan pengambilan sampel (gambar 8) yaitu rokok, kemudian selang berukuran 0,7 cm setelahnya disambungkan dengan tabung pengukuran yang akan diisi sampel asap kemudian disambungkan dengan selang berdiameter 0,4 cm yang terhubung dengan penghisap.



Gambar 7. Rangkaian alat ESR Leybold Heraeus: 1. Osiloskop digital, 2. Alat pengendali ESR, 3. Pengatur Frekuensi ESR, 4. Kumparan Hemholtz dan 5. Multimeter.



Gambar 8. Cara pengambilan data: 1. Penghisap, 2. Selang 0,4 cm , 3. Tabung sampel asap, 4. Kumparan induksi, 5. Selang 0,7 cm dan 6. Rokok.

Indikator adanya suatu senyawa yang bersifat radikal yaitu munculnya gambar resonansi pada osiloskop yang berupa gambar dengan cekungan mirip seperti huruf V. Resonansi ini akan muncul pada frekuensi dan arus yang sesuai. Berdasarkan kemunculan gambar resonansi maka kemudian dilakukan pencatatan nilai frekuensi (f) dan arus (I) guna memperoleh nilai medan magnet (B) dan nilai faktor lande (g).

Setelah seluruh besaran arus dan frekuensi dicatat maka dilakukan perhitungan untuk menentukan besar medan magnet eksternal yang diberikan oleh kumparan melalui rumusan [15]

$$B = \mu_0 \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{n}{r} I \quad (10)$$

Dengan μ_0 adalah $1,2566 \times 10^{-6}$ Vs/Am, $n=320$ lilitan, $r=6,8 \times 10^{-2}$ m dan I adalah nilai yang terukur pada multimeter (0,248-0,597 A).

Nilai faktor lande (g) dihitung untuk mengetahui indikasi adanya senyawa dengan elektron tak berpasangan serta sifat paramagnetiknya, nilai ini dapat dihitung setelah nilai medan magnet eksternal yang bekerja diketahui melalui persamaan berikut:

$$g = \frac{hf}{\mu_B B} \quad (11)$$

Dengan h adalah tetapan plank ($6,63 \times 10^{-34}$ Js), f adalah frekuensi terukur pada alat ESR ketika resonansi (32,4-70,8 MHz), g adalah faktor Lande, μ_B adalah bilangan magnetik Bohr ($9,273 \times 10^{-24}$ J/T) dan B adalah medan magnet eksternal (T).

Untuk memudahkan dalam membaca data perolehan gambar resonansi maka kemudian dilakukan pengolahan gambar dengan membuat kurva turunan dari gambar resonansi yang tertampil pada osiloskop dengan menghitung melalui persamaan berikut [16]

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (12)$$

Dimana x dan y merupakan titik-titik pembentuk gambar kurva resonansi pada osiloskop yang merupakan bentukan kanal 1 dan kanal 2 dari pola kurva lisajous yang tertampil pada osiloskop.

4. Hasil Dan Pembahasan

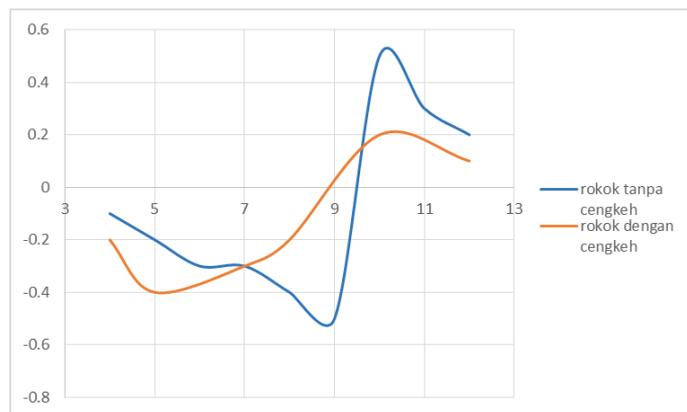
Asap rokok merupakan kumpulan aerosol dan komponen kimia dari pembakaran komponen dalam rokok termasuk diantaranya tembakau dan pembungkusnya. Hasil pembakaran rokok sendiri dapat menghasilkan ribuan bahan kimia dimana diantaranya adalah tar yang bersifat karsinogen, gas monoksida dan nikotin. Diantara ribuan senyawa kimia yang dihasilkan, juga terdapat senyawa yang bersifat radikal.

Penelitian yang telah dilakukan memberikan hasil perolehan seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 1. Resonansi muncul pada kedua jenis sampel baik untuk rokok dengan cengkeh maupun rokok tanpa penambahan cengkeh. Resonansi pada ESR merupakan suatu kondisi eksitasi yang dialami oleh elektron dimana spin elektron tersebut mengalami pemisahan sejauh E energi. Pemisahan spin elektron ini terjadi karena elektron menyerap frekuensi gelombang elektromagnet yang diberikan. Besarnya loncatan spin bergantung dari serapan energi yang dilakukan oleh spin elektron untuk beresilasi dengan medan magnet B yang kemudian akan mengakibatkan perpindahan spin elektron ke tingkat energi yang lebih tinggi [11-12]. Melalui persamaan 8 dapat dinyatakan bahwa besar energi pemisahan ini ditentukan oleh nilai

frekuensi yang diserap oleh elektron dimana semakin besar jarak pisah energi antar dua tingkat energi maka frekuensi yang dibutuhkan untuk menyebabkan transisi spin elektron pun akan semakin besar [11].



Gambar 9. resonansi pada osiloskop untuk sampel rokok dengan cengkeh (kiri) dan rokok tanpa cengkeh (kanan). Sumbu X pada osiloskop menunjukkan kanal 1 dan sumbu Y menunjukkan kanal 2.



Gambar 10. Perolehan gambar turunan kurva resonansi.

Tabel 1. Data Pengukuran dan hasil perhitungan.

Sampel	f (MHz)	I (A)	B (T)	Faktor g
Rokok dengan cengkeh	33,3	0,275	1,164	2,0389
Rokok tanpa cengkeh	32,4	0,248	1,0493	2,2060
	33,4	0,303	1,2820	1,8368
	70,8	0,597	2,5259	2,0025

Hasil penelitian dari kedua jenis rokok memberikan hasil perolehan nilai faktor lande (g) yang bervariasi, nilai yang beragam ini dapat menjadi penunjuk bahwa terdapat kandungan senyawa reaktif yang berbeda – beda pada tiap jenis rokok yang diujikan. Nilai faktor lande yang beragam, besaran nilai frekuensi yang diperoleh pun cukup bervariasi. Variasi nilai ini menunjukkan kandungan senyawa yang berbeda untuk tiap nilai karena frekuensi resonansi sendiri berkaitan dengan besar energi pisah (split) dari spin elektron yang terjadi melalui serapan elektromagnetiknya [11-12]. Untuk rokok dengan cengkeh frekuensi ditemukan pada 33,3 MHz dan untuk rokok tanpa cengkeh ditemukan tiga frekuensi resonansi yaitu pada 32,4, 33,4 dan 70,8 MHz

Secara umum radikal bebas organik dan metalik organik memiliki nilai faktor lande yang berkisar antara 1,9-2,1 [11, 17]. Sebagian besar dari radikal bebas yang terdapat pada rokok adalah radikal dengan pusat oksigen dan bersama itu juga ditemukan radikal NO_x dan O₂⁻ serta radikal karbon yang relatif lebih stabil, radikal dengan pusat karbon seperti radikal tipe benzyl juga ditemukan dalam asap rokok [4, 18]. Tidak hanya kandungan radikal dengan nilai faktor lande bernilai dalam kisaran 1,9-2,1 tetapi ditemukan juga resonansi untuk nilai faktor Lande sebesar 1,8368 dan 2,2060 dimana nilai ini dapat mengindikasikan bahwa terdapat jenis radikal dengan ikatan metal ataupun jenis radikal non organik [11]. Faktor lande g sendiri dapat menunjukkan posisi tingkat energi sub kulit elektron tak berpasangan.

Tiap level energi sub kulit nilainya dapat berbeda-beda karena faktor lande g juga dapat dipengaruhi oleh total momentum angular (J), momentum angular orbital (L), dan momentum spin angular (S) [19]. Faktor lande yang lebih besar juga dapat menunjukkan sifat paramagnetik yang lebih besar pula [16], seperti yang ditunjukkan oleh gambar 6. Diketahui bahwa semakin besar faktor lande g nya maka energi pisah nya akan semakin besar pula [9].

Senyawa radikal bebas yang ada pada rokok sendiri dihasilkan dari reaksi berantai selama pirolisis dimana berdasarkan hasil analisa kandungan karbon dan nitrogen pada tembakau yang dilakukan oleh Chen, maka dapat dinyatakan bahwa komponen aktif tembakau memiliki rumusan molekuler $C_{30}H_{50}O_{23}N_n$ [14]. Jumlah kandungan nitrogen sendiri dipengaruhi oleh komposisi tembakau dari rokok yang digunakan. Selama proses penghisapan, gas panas dihasilkan pada zona aliran melalui kolom tembakau guna memanaskan tembakau dan membawa produk pirolisi dan destilasi dan menghasilkan asap utama. Pada rokok proses pembakaran dapat mencapai suhu 650-850 °C [20]. Reaksi umum pembakaran rokok ketika penghisapan diberikan oleh persamaan 9 yang dirangkumkan oleh Chen (2004) melalui eksperimen dengan memperhitungkan total konsumsi massa selama penghisapan dan pembakaran. Proses ketika bara menyala pada rokok juga memberikan tambahan produk yang dihasilkan yaitu NH_3 . Proses pembakaran dan pemutusan senyawa aktif pada tembakau inilah yang memberikan kontribusi bentukan senyawa radikal NO_x dan senyawa hidrokarbon yang bersifat radikal pada asap utama rokok.

Ventilasi dalam proses pembakaran rokok memberikan kontribusi terhadap distribusi komponen pada tembakau kedalam produksi asap utama rokok maupun asap samping rokok. Sebagian besar hasil pirolisis yang terjadi menyebabkan terbentuknya sejumlah besar senyawa organik pada asap rokok [21]. Asap utama pada rokok dengan cengkeh memiliki ikatan yang lebih banyak mengandung oksigen [22]. Kamisoko juga menemukan bahwa rokok indonesia secara spesifik memiliki senyawa $C_xH_yN_{1-4}$ dan $C_xH_yN_{1-3}O$, selain itu juga ditemukan senyawa dengan pusat O3-O4 untuk rokok indonesia tanpa cengkeh dan untuk rokok dengan cengkeh dapat mencapai delapan atom oksigen dan pusat distribusi gaussian dengan spesies O5-O6. Pirolisi cengkeh dipercaya dapat mempengaruhi produksi gas teroksidasi sebagai efek dari kandungan hemiselulosa dan lignin pada cengkeh dan mempengaruhi pembentukan senyawa radikal bebas pada asap hasil pembakaran utamanya senyawa dengan pusat oksigen [22].

Hasil penelitian terhadap dua jenis rokok ditemukan hasil frekuensi resonansi yang lebih banyak pada jenis rokok tanpa cengkeh. Perbedaan perolehan hasil ini dapat dikarenakan adanya perbedaan jenis kandungan dan tekstur bahan penyusun sehingga hal ini mempengaruhi proses pembakaran dan pemanasan akibatnya hasil produksi kandungan dalam asap dapat berbeda. Gambar 10 memberikan informasi tinggi amplitudo dari perolehan data resonansi, dimana tinggi amplitudo sebanding dengan kuadrat intensitas senyawa dengan elektron bebas [23]. Berdasarkan perolehan kurva turunan ini maka dapat dikatakan bahwa intensitas senyawa dengan elektron bebas relatif lebih tinggi pada rokok tanpa penambahan cengkeh dibandingkan rokok dengan cengkeh. Perbedaan ada atau tidaknya kandungan cengkeh mempengaruhi produk asap yang dihasilkan dimana pada asap rokok dengan cengkeh ditemukan kandungan eugenol dan turunannya yaitu *b-caryophyllene*, eugenol and eugenol acetate [24]. Selain itu dalam penelitian yang sama juga ditemukan bahwa rokok dengan cengkeh memiliki sebaran substansi nitrogen yang lebih rendah dibanding dengan rokok tanpa cengkeh hal ini diakibatkan oleh kandungan tembakau yang lebih rendah dari rokok tanpa cengkeh dimana untuk jenis rokok cengkeh yang digunakan ini memiliki kandungan cengkeh mencapai 35% [24-25].

Hasil studi yang dilakukan secara *in vivo* dan *in vitro* pada rokok dengan cengkeh menunjukkan bahwa asap racun, racun secara *in vitro* dan *in vivo* dari asap rokok dengan cengkeh secara umum lebih rendah pada *total particulate matter (TPM)* dibandingkan dengan rokok tanpa cengkeh (*American blend*) [25]. TPM yang rendah ini juga memberi kontribusi terhadap menurunnya jumlah senyawa yang merusak sel pada fase gas, begitu juga untuk jenis senyawa penyebab mutagen pada fase partikulat [25]. Penurunan kandungan racun disebabkan oleh efek pengenceran oleh eugenol dan adanya kemungkinan perbedaan karakteristik pembakaran. Eugenol dalam cengkeh sendiri diketahui memiliki sifat anti oksidan dan pengikat radikal [26-27]. Studi yang telah dilakukan tersebut sesuai dengan hasil penelitian ini, dimana jumlah perolehan frekuensi resonansi yang muncul pada asap rokok dengan cengkeh lebih sedikit jumlahnya dibanding dengan jumlah rokok tanpa cengkeh.

Pada hasil penelitian diperoleh hasil bahwa rokok dengan cengkeh memiliki frekuensi resonansi yang lebih sedikit, namun tidak serta merta rokok jenis ini dapat dikatakan lebih aman dari rokok tanpa cengkeh sebab eugenol pada rokok mengakibatkan peningkatan jumlah produksi tar [24]. Eugenol telah

lama digunakan sebagai antiradang, penghilang rasa sakit, dan anestetik pada kedokteran gigi. Aktivitas eugenol sebagai *anesthetic* dapat memberikan efek mati rasa pada faring ketika rokok dengan cengkeh dihisap sehingga dapat memicu perokok untuk menghisap rokok lebih dalam lagi [28].

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa ESR memberikan perolehan gambar resonansi pada kedua jenis asap rokok. Hasil resonansi ini menunjukkan bahwa terdapat senyawa radikal bebas yang memiliki elektron tak berpasangan pada kedua jenis sampel. Terdapat perbedaan hasil perolehan jumlah kejadian frekuensi resonansi antara rokok dengan cengkeh dan rokok tanpa cengkeh dimana deteksi lebih sedikit terjadi pada rokok dengan cengkeh. Tinggi amplitudo pada perolehan kurva turunan untuk rokok dengan cengkeh juga relatif lebih rendah dibanding kan dengan rokok tanpa cengkeh. Hasil tersebut dapat terjadi karena kandungan eugenol dalam cengkeh memberikan efek pengikat radikal dan anti oksidan sehingga ada beberapa komponen yang kemudian terikat dan tak terdeteksi oleh ESR.

Pustaka

- [1] MF. Dube and CR. Green, Methods Of Collection Of Smoke For Analytical Purposes, *Recent Advances in Tobacco Science: Formation, Analysis, and Composition of Tobacco Smoke*, Vol. 8 1982, pp. 42-102.
- [2] Alan Rodgman. T, *The Chemical Components of Tobacco*, CRC Press, USA, 2009.
- [3] J.E. Harris, Smoking And Tobacco Control, Monograph No. 7, chapter 5, 1994, available from: <https://cancercontrol.cancer.gov/brp/tcrb/monographs/7/index.html>. [Cited 2020 May 29].
- [4] A. Valavanidis, dkk, Tobako Smoke: Involvement of Reactive Oxygen Species and Stabel Free Radikals in Mechanisms of Oxidative Damage Carcinogenesis and Synergistic Effects with Other Respirable Particle, *Internasional journal of Environmental Research and Public Health*, 2009.
- [5] R. Goel, Tobacco Smoke Free Radicals and Related Biomarkers of Oxidative Stress, *Free Radical Biology and Medicine*, Vol. 112, Supplement 1, November 2017, pp. 130-131.
- [6] R. West, Tobacco smoking: Health impact, prevalence, correlates and interventions. *Psychology & Health*, Vol. 32, No. 8, 2017, pp. 1018-1036.
- [7] J. Hirsch. 2016. More: Zeeman Effect. Available from: <https://courses.physics.ucsd.edu/2016/Spring/physics4e/zeeman.pdf>. [cited 2020 June 5].
- [8] E. N, Kaufman, *Characterization of Materials, 2 volume set*. John Willey and Son, USA, 2003.
- [9] R.E. Catherine A, Techniques in Free Radical Research, *Laboratory Techniques in Biochemistry and Molecular Biology*, Vol. 22, 1991, pp. 51-100.
- [10] C.T. Sebens, Studies in History and Philosophy of Science Part B: *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, Vol. 68, 2019, pp. 40-50.
- [11] P.H. Rieger, *Electron Spin Resonance Analysis and Interpretation*, Royal Society of Chemistry: Cambridge, 2007.
- [12] J.A.Weil and J.R. Bolton, *Electron Paramagnetic Resonance: Elementary and Practical Application*, John Willey and Sons, 2007.
- [13] R.R. Baker, Smoke generation inside a burning cigarette: Modifying combustion to develop cigarettes that may be less hazardous to health, *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 32, 2006, pp. 373-385.
- [14] P. Chen, Chemistry of Cigarette Burning Processes, *Beiträge zur Tabakforschung International/Contributions to Tobacco Research*, Vol. 21, No. 2, July 2004.
- [15] D. Harrison, Electron Spin Resonance, In Leybold Heraeus Instruction Sheet, 1988.
- [16] R. Hayati, Identifikasi Pengaruh Penambahan Ekstrak Buah Duwet (*Syzygium cumini*) Pada Filter Rokok Terhadap Karakter Magnetik Asap Rokok, *Natural B*, Vol. 3, No.3, April 2016.
- [17] Atkins, *Kimia Fisika*, Erlangga, Jakarta, 1999.

- [18] A. Jebet, Surface Bound Radicals, Char Yield And Particulate Size From The Burning Of Tobacco Cigarette, *Chemistry Central Journal*, 2017, pp. 11:79.
- [19] F. Yang and Joseph H. Hamilton, *Modern Atomic And Nuclear Physics, Revised edition*, World Scientific Publishing, chapter 4, 2010, pp. 120-160.
- [20] P. Ermala, On the burning Temperature of Tobacco. *American Asosiation for Cancer Research*, 1956.
- [21] R. Baker, Product Formation Mechanisms Inside A Burning Cigarette, *Prog. Energy Combust. Sci.*, Vol. 7, 1981, pp. 135-153.
- [22] A. Kamisoko dkk, Study Of The Mainstream Cigarette Smoke Aerosols By Fourier Transform Ion Cyclotron Resonance Mass Spectrometry Coupled To Laser/Desorption And Electrospray Ionization – Additional Insights On The Heteroaromatic Components, *Rapid Commun Mass Spectrom*, Vol. 33(S1), 2019, pp. 95-108.
- [23] R. Hayati, Analisis Efek Penambahan Ekstrak Buah Duwet Pada Karakter Fisis Asap Rokok, *Master Thesis*, Universitas Brawijaya, Malang, 2016.
- [24] J.J. Piade dkk, Toxicological Assessment Of Kretek Cigarettes Part 2: Kretek And American-Blended Cigarettes, Smoke Chemistry.And In Vitro Toxicity. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, Vol. 70, 2014, S15-S25.
- [25] E. Roemer dkk, Toxicological assessment of kretek cigarettes Part 1: Background, assessment approach, and summary of findings, *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, Vol. 70, 2014, S2-S14.
- [26] Radia Mahboub and Faiza Memmou, Antioxidant activity and kinetics studies of eugenol and 6-bromoeugenol, *Natural Product Research: Formerly Natural Product Letters*, 2014.
- [27] S.Y. Prabawati dan A.F. Agustina, *Kaunia*, Vol. 11, No. 1, April 2015/1436, pp. 11-18.
- [28] T.L. Guidotti, Clove Cigarettes The Basis for Concern Regarding Health Effects, *The Western Journal Of Medicine*, August, 1989.