

**PENDETEKSIAN RADIKAL BEBAS PADA ASAP
ROKOK DENGAN MENGGUNAKAN *ELECTRON SPIN
RESONANCE* (ESR) LEYBOLD HERACUS**

SKRIPSI

Oleh:
NI KADEK NOVA ANGGARANI
0710930023-93



**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2012**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**PENDETEKSIAN RADIKAL BEBAS PADA ASAP
ROKOK DENGAN MENGGUNAKAN *ELECTRON SPIN
RESONANCE* (ESR) LEYBOLD HERACUS**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Fisika

oleh:

Ni Kadek Nova Anggarani
0710930023-93



**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2012**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENDETEKSIAN RADIKAL BEBAS PADA ASAP
ROKOK DENGAN MENGGUNAKAN *ELECTRON SPIN
RESONANCE* (ESR) LEYBOLD HERACUS**

oleh:
Ni Kadek Nova Anggarani
0710930023-93

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji pada tanggal :

dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Fisika

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir.D.J.Djoko .S.M.Phill.,PhD.
NIP. 196601311990021001

Drs. Unggul P. Juswono, M.Sc.
NIP. 196501111990021002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Drs. Adi Susilo, Msi.,PhD
NIP. 196709071992031001

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ni Kadek Nova Anggarani
NIM : 0710930023-93
Jurusan : Fisika
Penulis Skripsi berjudul : Pendeteksian Radikal Bebas Pada Asap Rokok Dengan Menggunakan *Electron Spin Resonance* (ESR) Leybold Heracus

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. isi skripsi yang saya buat benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka skripsi ini,
2. apabila di kemudian hari ternyata skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, Desember 2011
Yang menyatakan,

(Ni Kadek Nova Anggarani)
NIM. 0710930023

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



PENDETEKSIAN RADIKAL BEBAS PADA ASAP ROKOK DENGAN MENGGUNAKAN *ELECTRON SPIN RESONANCE* (ESR) LEYBOLD HERACUS

ABSTRAK

Radikal bebas merupakan senyawa yang sangat reaktif. Radikal bebas dapat membentuk ikatan dengan lipid, protein maupun DNA sehingga radikal berbahaya bagi sel. Contoh sumber radikal bebas asap rokok. Untuk mendeteksi radikal bebas pada asap rokok digunakan ESR Leybold Heracus. Radikal bebas dapat diketahui melalui perolehan nilai faktor g dari sampel asap rokok, sehingga jenis radikal pada asap rokok pun dapat diidentifikasi. Sampel yang diamati merupakan sampel dari asap rokok jenis putih dan kretek. Pengukuran dilakukan dengan 2 cara yaitu dengan cara menarik asap langsung ke dalam tabung pengukuran dan dengan cara meniupkan asap rokok yang telah ditampung sebelumnya ke dalam tabung pengukuran. Pengukuran dilakukan pada asap rokok secara langsung tanpa diendapkan terlebih dahulu dengan *spin trapping*. Pada pengukuran ini diperoleh resonansi dengan nilai faktor g pada nilai 1,5-2,2. Dimana jenis radikal yang dideteksi pada rokok kretek merupakan radikal yang berikatan dengan logam mangan (Mn), radikal karbon dioksida (CO_2), dan oksigen (O_2), sedangkan pada rokok putih diperoleh radikal dengan jenis ikatan tembaga (Cu), serta radikal karbon dioksida (CO_2), sulphate (SO_4), dan radikal pusat karbon (C^*). Pada dua jenis rokok ditemukan satu jenis radikal yang sama yaitu karbon dioksida (CO_2). Jenis radikal yang terdeteksi merupakan radikal dengan jenis radikal inorganik dan radikal organik. Kedua metode pengukuran yang digunakan tidak memberikan perbedaan yang signifikan
(kata kunci : *asap rokok, elektron spin resonansi (esr), faktor g, radikal bebas*)

CIGARETTE SMOKE FREE RADICALS DETECTION USING ELECTRON SPIN RESONANCE (ESR) LEYBOLD HERACUS

ABSTRACT

Free radicals are highly reactive compounds. Free radicals can form bonds with lipids, proteins and DNA so that the radicals can damage cells, one sources of free radicals is cigarette smoke. ESR Leybold Heracus was used to detect free radicals in cigarette smoke. Free radicals can be detected through the acquisition value of g factor from the sample of cigarette smoke, therefore type of radicals in cigarette smoke can be identified. Observed sample were smoke, from cigarette and clove cigarette. Measurements were made in 2 ways by pulling the smoke directly into the measuring tube and blowing cigarette smoke in a way that has been previously stored into the measuring tube. In this study measurements were performed on cigarette smoke directly without deposited it first with spin trapping. In these measurements g factor has the value of 1.5 to 2.2. Radical species were detected in clove cigarettes is a radical that binds to the metal manganese (Mn), the radical carbon dioxide (CO₂) and oxygen (O₂). In cigarette, radical obtained with bonding type of copper (Cu), and carbon dioxide radical (CO₂), sulphate (SO₄), and centered carbon radical (C^{*}). On two types of cigarettes there are found one similar type of radical that is carbon dioxide (CO₂). Types of radicals which are detected are inorganic radical species and organic radicals. Both of measurement methods that used in this experiment did not give significant difference.

(keyword: cigarette smoke, electron spin resonance (esr), g factor, free radicals)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan bimbingan dan petunjuk-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *“Pendeteksian Radikal Bebas Pada Asap Rokok Dengan Menggunakan Electron Spin Resonance (ESR) Leybold Heracus”* dengan baik dan lancar.

Dalam penyelesaian skripsi ini penulis banyak mendapat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, karena itu pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ir.D.J.Djoko H.S,M.Phill.,PhD., selaku pembimbing I atas segala bimbingan, nasihat, motivasi serta kesabaran yang telah diberikan selama penulisan skripsi ini.
2. Drs. Unggul P. Juswono, M.Sc., selaku pembimbing II atas segala bimbingan, nasihat, motivasi serta kesabaran yang telah diberikan selama penulisan skripsi ini.
3. Seluruh dosen penguji, selaku penguji pada ujian skripsi atas segala saran yang diberikan untuk perbaikan skripsi ini.
4. Seluruh bapak/ibu dosen Fisika yang telah memberikan bekal dan ilmu pengetahuan kepada penulis, serta segenap staf dan karyawan TU Jurusan Fisika atas segala bantuannya.
5. Papa, mama, kakak, adik dan seluruh keluarga besar penulis yang senantiasa tanpa henti memberikan semangat dan dorongan serta doanya agar penulis dapat menyelesaikan skripsinya.
6. Keluarga besar Fisika 2007 dan semua pihak yang telah membantu proses penulisan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Terimakasih.

Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih banyak kekurangan, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran melalui email penulis nova_anggarani@yahoo.com.

Akhirnya semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca, khususnya mahasiswa Fisika Universitas Brawijaya.

Malang, Desember 2011

Penulis.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penulisan	2
1.5. Manfaat Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Radikal Bebas	5
2.2. Rokok.....	6
2.3. Bahan Utama Penyusun Rokok	7
2.3.1 Tembakau	7
2.4. Pembakaran Rokok.....	8
2.5. Asap Rokok	10
2.6. Spin Elektron	11
2.7. Efek Zeeman.....	13
2.8. Elektron Spin Resonansi.....	15
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	19
3.2. Alat dan Bahan	19
3.3. Prosedur Kerja	19
3.4. Pengambilan Sampel Penelitian.....	19

3.5. Cara Kerja	19
3.5.1. Persiapan alat.....	19
3.5.2. Persiapan alat pengumpul sampel	21
3.5.3. Penggunaan pipet sebagai wadah sampel.....	24
3.5.4. Kalibrasi DPPH	24
3.5.5. Persiapan alat pengukuran sampel.....	25
3.6. Analisa Data	26
3.6.1. Perhitungan nilai B dan g	26
3.6.2. Pengolahan data.....	27
3.7. Diagram Alir Kerja.....	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1. Kalibrasi ESR	31
4.1.1. Kalibrasi Dengan DPPH.....	31
4.2. Resonansi Pada ESR	32
4.3. Resonansi Pada Dua Metode	34
4.4. Identifikasi Radikal Bebas Pada Asap Rokok.....	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1. Kesimpulan	41
5.2. Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	47

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Nilai faktor g radikal bebas dalam gas	6
Tabel 2.2 Daftar elemen dalam daun tembakau	8
Tabel 4.1 Hasil pengukuran	35
Tabel 4.2 Daftar nilai faktor g hasil penelitian	37

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Tanaman tembakau 8
Gambar 2.2	Diagram pemisahan energi elektron 13
Gambar 2.3	Pemisahan spektrum pada efek zeeman..... 14
Gambar 2.4	Transisi elektron
	(a) Transisi tanpa medan magnet..... 15
	(b) Lima transisi dalam medan magnet..... 15
Gambar 3.1	Rangkaian alat ESR Leybold-Heracus..... 18
Gambar 3.2	Pemasangan alat pengumpul sampel 1 20
Gambar 3.3	Rangkaian pipet untuk pengukuran langsung (cara 1) 21
Gambar 3.4	Pemasangan alat pengumpul sampel 2 23
Gambar 3.5	Rangkaian Pipet cara 2 (a),(b) Rangkaian pipet untuk pengukuran Tiup (cara 2) 23
Gambar 3.6	Gambar resonansi 25
Gambar 4.1	Resonansi dengan menggunakan DPPH..... 31
Gambar 4.2	Gambar Resonansi (a) Gambar resonansi 1,(b) Gambar resonansi 2... 32
Gambar 4.3	Gambar bukan resonansi..... 28
Gambar 4.4	Gambar pola lisajous 33

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A Hasil pengukuran kalibrasi dengan DPPH.....	47
Lampiran B Data Perolehan Hasil Pengukuran	
(1) Data perolehan hasil pengukuran untuk tiap rokok dengan menggunakan cara langsung	48
(2) Data perolehan pengukuran untuk tiap rokok dengan cara tiup.....	48
Lampiran C Gambar resonansi rokok kretek	
(1) Gambar resonansi pada rokok kretek dengan cara Langsung.....	49
(2) Gambar resonansi pada rokok kretek dengan cara tiup	49
Lampiran D Gambar resonansi rokok putih	
(1) Gambar resonansi pada rokok putih dengan cara langsung.....	50
(2) Gambar resonansi pada rokok putih dengan cara tiup	50
Lampiran E Bahan - bahan	
(1) Bahan – bahan yang diukur dengan ESR	52
(2) Perbedaan tekstur rokok kretek dan putih	52
Lampiran F Alat yang dirangkai	
(1) Osiloskop digital.....	54
(2) Alat pengatur ESR.....	54
(3) Alat dasar ESR dan Kumparan Hemholtz	54
(4) Kumparan induksi	55
(5) Multimeter digital.....	55
(6) Rangkaian alat ESR.....	55
Lampiran G Daftar tabel nilai faktor g.....	56
Lampiran H Tabel kandungan logam dan sebarannya dalam asap tembakau.....	57

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Radikal bebas adalah senyawa kimia yang memiliki pasangan elektron bebas di kulit terluar sehingga sangat reaktif dan mampu bereaksi dengan protein, lipid, karbohidrat, atau DNA. Radikal bebas dapat dihasilkan melalui metabolisme tubuh dan faktor eksternal seperti asap rokok, polusi, dan hasil penyinaran sinar UV (Anonim, 27 maret 2011).

Asap rokok merupakan salah satu radikal bebas pada lingkungan selain polusi dan sinar UV. Diketahui bahwa asap rokok mengandung banyak radikal bebas dan diperkirakan dalam satu kali hisapan rokok dapat mengakibatkan ribuan radikal bebas masuk kedalam tubuh. Asap rokok dibagi menjadi asap utama dan asap sampingan. Asap utama terdiri dari fase partikulat padat (tar) dan fase gas (gas racun, radikal bebas,dll). Asap sampingan rokok juga terdiri dari fase padat dan gas yang memiliki konsentrasi racun yang lebih tinggi (Valavanidis,2009).

Bukti epidemiologi menunjukkan bahwa merokok merupakan faktor dari lingkungan yang berperan penting pada kematian manusia. Rokok tembakau dianggap bertanggung jawab terhadap 30% tingkat kematian akibat kanker di negara maju. Selain itu rokok diketahui dapat menyebabkan kematian akibat kardiovaskular, penyakit kronis, dan kerusakan paru – paru (Valavanidis,2009).

Oleh karena tingginya kadar radikal bebas pada asap rokok, maka banyak penelitian yang dilakukan untuk mengetahui jenis radikal bebas dari asap rokok. Seperti yang banyak dilakukan sebelumnya, yang melakukan penelitian pada asap rokok dengan cara mengendapkan asap rokok menggunakan larutan PBN (Phenyl N Tert Butylnitron) dan kemudian mengukurnya dengan menggunakan ESR. Namum belum ada penelitian radikal bebas pada asap rokok yang diukur langsung dalam bentuk asap. Pada penelitian ini objek yang diukur berupa asap rokok bukan hasil endapan asap rokok, karena dikhawatirkan adanya kemungkinan radikal yang terukur setelah pengendapan

merupakan radikal bebas bentukan baru akibat reaksi dengan larutan PBN.

Radikal bebas dapat diukur dengan menggunakan ESR yang merupakan suatu teknik spektroskopi. Sampel yang dapat dipelajari oleh ESR dapat berupa sampel dalam fase padat, cair maupun gas. Salah satu jenis ESR adalah ESR Leybold Heracus, yang memiliki jangkauan frekuensi MHz. ESR Leybold Heracus ini merupakan alat utama yang digunakan dalam penelitian ini, yang mana alat ini sebelumnya di jurusan fisika belum pernah digunakan untuk mendeteksi radikal bebas pada sampel dalam bentuk gas. Penelitian skripsi yang telah dilakukan sebelumnya hanya meneliti radikal pada sampel berbentuk padat dan cair.

Rokok yang sedang terbakar menghasilkan lebih dari 4000 zat kimia. Banyak diantaranya yang bersifat toksik dan tidak menutup kemungkinan bahwa banyak diantaranya bersifat radikal. Karena banyaknya radikal bebas yang terkandung pada asap rokok maka dilakukan pendeteksian radikal bebas pada asap rokok. Guna mengetahui radikal bebas yang terdapat pada asap rokok dan besar atau nilai dari faktor-g (faktor Lande).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang , maka rumusan masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini yaitu apakah ESR Leybold Heracus dapat mendeteksi radikal bebas pada asap rokok dalam bentuk gas (asap) dan Bagaimakah hasil resonansinya. Kemudian bagaimanakah mengidentifikasi nilai faktor g untuk radikal bebas yang terkandung pada asap rokok dan apakah terdapat perbedaan dari hasil pengukuran antara sampel rokok putih dan kretek.

1.3 Batasan Masalah

Masalah yang akan dibahas pada penelitian ini dibatasi pada pengukuran radikal bebas asap rokok dimana jenis rokok yang digunakan adalah rokok kretek dan putih tanpa variasi merk. Pembahasan juga dibatasi pada penelitian pengukuran sampel asap rokok yang ketika dilakukan pengambilan sampel tidak dilewatkan pada filter terlebih dahulu, dengan kata lain pembahasan dilakukan untuk pengukuran asap rokok heterogen.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai oleh penulis yaitu dapat mengetahui hasil resonansi ESR Leybold Heracus untuk pendeteksian kandungan radikal bebas pada asap rokok dalam bentuk gas. Serta dapat menentukan nilai faktor g untuk radikal bebas yang terkandung pada asap rokok, dan dapat menentukan jenis radikal bebas yang terkandung pada asap rokok.

1.5 Manfaat penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi apakah ESR Leybold Heracus dapat digunakan untuk mendeteksi radikal bebas pada asap rokok. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan gambaran dugaan jenis kandungan radikal bebas serta bahaya dari radikal bebas tersebut yang terdapat pada asap heterogen rokok.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II DASAR TEORI

2.1 Radikal Bebas

Radikal bebas merupakan sekelompok bahan yang berbentuk atom maupun molekul yang memiliki elektron tak berpasangan pada sub kulit terluarnya. Radikal bebas bersifat sangat reaktif karena memiliki satu atau lebih elektron bebas. Radikal bebas dapat bermuatan positif, negatif maupun tak bermuatan. Molekul radikal bebas bersifat tidak stabil dan mudah bereaksi dengan molekul lain karena elektron membutuhkan pasangan untuk menstabilkan spinnya. Sumber-sumber dari radikal bebas yaitu asap rokok, polusi udara, beberapa jenis obat-obatan, bahan tambahan makanan, sinar ultraviolet, serta radiasi (Oakley, 30 maret 2011).

Radikal bebas yang mengikat atau mengambil elektron pada susunan sel tubuh dapat memicu kerusakan rantai DNA. Apabila kerusakan ini berlangsung lama hingga bertahun – tahun maka hal ini dapat mengakibatkan timbulnya kanker (Isna, 26 maret 2011).

Pembentukan radikal bebas dapat berasal dari dalam tubuh dan luar tubuh. Radikal yang berasal dari dalam tubuh dapat dihasilkan pada saat bernapas dimana radikal bebas merupakan hasil samping proses oksidasi atau pembakaran di dalam tubuh. Adapun contoh radikal bebas dari turunan oksigen adalah superoksida (O_2^-), hidroksil ($\cdot OH$), peroksil ($ROO\cdot$), hidrogen peroksida (H_2O_2), singlet oksigen (O_2), oksida nitrit ($NO\cdot$), peroxinitrit ($ONOO\cdot$) dan asam hipoklorit ($HOCl$) (Arief, 26 maret 2011).

Radikal bebas dapat berada dalam fase padat, cair, maupun gas. Sebelumnya penelitian telah dilakukan oleh Carrington dan Levy (1966), Ultee (1960), untuk mengetahui struktur dan sifat gas paramagnetik, dan diperoleh hasil pengukuran nilai faktor g dari gas – gas tertentu yang bersifat radikal sebagai berikut:

Tabel 2.1 Nilai faktor g radikal bebas dalam gas (Carrington,1966), (Ultee,1960)

Nama Radikal	Nilai faktor g
Nitrogen (N)	2,000-2,0021
Hydrogen (H)	2,0030
Nitric Oxide (NO)	2,0021
Sulfida Oxide (SO)	2,230

Radikal umumnya berumur singkat karena sifatnya yang sangat reaktif. Akan tetapi ada juga radikal yang berumur lebih panjang dan dapat dikategorikan sebagai:

- Radikal Stabil
Contoh utama dari radikal stabil adalah dioksigen O_2 . Radikal organik dapat tinggal lebih lama apabila molekul ini berada dalam sistem terkonjugasi seperti radikal bebas yang berasal dari α -tokoferol.
- Radikal tetap (persistent radicals)
Radikal tetap merupakan radikal yang berumur panjang karena adanya kumpulan sterik disekitar pusat radikal sehingga radikal sulit bereaksi dengan molekul lain.
- Biradikal
Merupakan molekul yang memiliki dua pusat radikal. (Oakley, 30 maret 2011)

2.2 Rokok

Rokok merupakan silinder kertas yang berisi daun tembakau kering yang dicacah yang umumnya memiliki ukuran panjang 70 hingga 120 mm. Rokok sendiri berdasarkan bahan pembuatnya dibagi menjadi 3 yaitu:

1. Rokok putih : merupakan rokok yang komposisinya terdiri dari daun tembakau dan terkadang di tambah saus yang berfungsi memberi rasa dan aroma.
2. Rokok kretek : merupakan rokok yang komposisinya terdiri dari daun tembakau dan cengkeh kering yang kemudian diberi saus sebagai penambah rasa dan aroma.

3. Rokok klembak adalah rokok yang memiliki komposisi daun tembakau, cengkeh, menyan dan saus sebagai penambah rasa.
(Anonim, 30 maret 2011)

Bagian – bagian dari rokok meliputi :

1. Kertas

Kertas pembungkus campuran tembakau memiliki keragaman porositas untuk memungkinkan adanya ventilasi dari bara hasil pembakaran dan juga mengandung bahan yang dapat mengontrol laju pembakaran rokok dan stabilitas dari abu yang dihasilkan

2. Campuran tembakau

Proses pencampuran tembakau akan memberikan hasil cita-rasa tertentu yang menjadi ciri rokok tersebut. Biasanya terdiri dari campuran beberapa jenis tembakau.

3. Zat tambahan

Merupakan sejenis bahan kimia yang ditambahkan oleh pabrik untuk tujuan organoleptik.
(Anonim, 30 maret 2011)

2.3 Bahan Utama Penyusun Rokok

2.3.1 Tembakau

Tembakau merupakan organisme yang menarik. Tanaman ini seperti kebanyakan tanaman lainnya mengambil molekul paling sederhana (karbon dioksida, nitrogen dan air), cahaya dan beberapa logam yang kemudian diproses untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Tembakau disebut juga sebagai pabrik kimia dimana tercatat terdapat 4200 komponen yang telah teridentifikasi berada pada tembakau. Kandungan dalam tembakau dapat dikelompokkan menurut kelas komponennya seperti alkaloid, protein, nitrate-nitrogen dll. Saat ini dilaporkan bahwa terdapat elemen mikro pada tembakau termasuk elemen umum seperti alkali, alkali bumi, logam berat dan elemen langka seperti Al, As, Ba, B, Cs, Cr, Co, Cu, F, Au, I, Pb, Li, Mg, Mn, Hs, Mo, Ni, Pt, Po, Ra, Rb, Se, Si, Ag, Sr, S, Ta, Ti, Sa, U, V dan

Zn. Serta banyak juga terdapat logam berat radioaktif. Elemen – elemen pada tembakau ini dapat berasal dari tanah maupun sumber lainnya (Alan, 2009).



Gambar 2.1 Tanaman tembakau

Tabel 2.2 Daftar elemen dalam daun tembakau

Elemen	Symbol	Persentase berat kering (%)
Oksigen	O	43
Karbon	C	43
Hydrogen	H	6,0
Nitrogen	N	5,0
Phosphor	P	0,2
Potassium	K	1,0
Calcium	Ca	0,35
Magnesium	Mg	0,20
Sulfur	S	0,15
Chloride	Cl	0,10
Besi	Fe	0,10
Molybdenum	Mo	0,05
Zinc	Zn	0,02
Boron	B	0,02
Copper	Cu	0,01
Lainnya		0,80

2.4 Pembakaran rokok

Rokok yang terbuat dari daun tembakau kering, kertas dan zat perasa, dapat dibentuk dari unsur Carbon (C), Hidrogen

(H), Oksigen (O), Nitrogen (N) dan Sulfur (S) serta unsur-unsur lain yang berjumlah kecil. Proses pembakaran rokok menghasilkan komposisi kimia yang lebih kompleks sebab proses pembakaran menyebabkan zat yang terkandung dalam tembakau akan terlepas. Terdapat 2 jenis reaksi pembakaran yang terjadi pada proses merokok yaitu reaksi dengan oksigen dan reaksi pirolisis (Putra, 2005).

1. Reaksi rokok dengan oksigen

Merupakan reaksi yang membentuk senyawa-senyawa seperti CO_2 , H_2O , NO_x , SO_x , dan CO. Reaksi ini terjadi pada temperatur tinggi yaitu diatas 800°C . Reaksi ini terjadi pada bagian ujung atau permukaan rokok yang melakukan kontak dengan udara .

2. Reaksi Pirolisis

Merupakan reaksi yang terjadi akibat pemanasan dan ketiadaan oksigen. Pirolisis berlangsung pada suhu yang lebih rendah dari 800°C . Sehingga rentang terjadinya pirolisis pada bagian dalam rokok berada pada area temperatur $400-800^\circ\text{C}$. Ciri khas reaksi ini yaitu dihasilkannya ribuan senyawa kimia yang strukturnya komplek .

Dalam reaksi pirolisis banyak senyawa yang dihasilkan tergolong pada senyawa kimia yang beracun yang memiliki kemampuan berdifusi dalam darah.

Selain reaksi pembakaran dan pirolisis, juga terjadi proses penguapan air dan nikotin yang berlangsung pada temperatur antara $100-400^\circ\text{C}$. Dibawah temperatur 100°C nikotin sudah mengkondensasi, sebelum gas memasuki mulut. Namun tidak semua nikotin dalam gas terkondensasi sebelum memasuki mulut sehingga masih ada nikotin dalam gas yang masuk ke dalam paru-paru (Putra, 2005).

Ditinjau dari proses pembakarannya, proses merokok tidak berbeda dengan proses pembakaran kayu di dapur, proses pembakaran minyak tanah di kompor, proses pembakaran batubara di industri semen, proses pembakaran gas alam di

industri pemanas baja dan segala proses pembakaran yang melibatkan bahan bakar dan oksigen (Putra, 2005). Gas yang dihasilkan dari proses pembakaran rokok akan mengalir ke tubuh dan masuk melewati rongga mulut. Sehingga daerah yang pertama kali terpapar dengan rokok adalah rongga mulut.

2.5 Asap Rokok

Merokok merupakan kegiatan membakar zat, biasanya tembakau, untuk dihisap asapnya. Rokok yang dihisap dapat berupa rokok hasil produksi industri maupun tembakau kering yang digulung dengan kertas.

Asap rokok merupakan aerosol heterogen dari hasil pembakaran tembakau, komponen dalam rokok, serta pembungkusnya. Asap rokok mengandung lebih dari empat ribu zat – zat dan dua ribu diantaranya dinyatakan berbahaya bagi tubuh. Pada asap rokok 85% dari komponen berada dalam fase gas dan sisanya dalam padatan atau partikel. Adapun zat – zat yang dimaksud diantaranya bahan radioaktif polonium, acetone, ammonia, naphthalene, arsenic, hydrogen cyanide, tar, nikotin, gas monoksida (CO) (Anonim, 30 maret 2011).

Adapun beberapa komponen dari asap rokok yaitu karbon monoksida yang mana pada pengukuran dalam darah perokok terdapat sekitar 4-15 % melebihi ambang batas yaitu 1%. Selain itu juga terdapat ammonia, nitrogen oksida, formal dehide, hidrogen cyanida, tar yang merupakan kumpulan ribuan bahan kimia dalam komponen padat pada asap rokok. Kadar tar pada asap rokok dapat berkisar antara 14-45 mg. Nikotin tiap satu batang rokok dapat mencapai 5,816 mg (Susana, 2003), fenol, metanol (Matsun, 30 maret 2011). Pb merupakan timah hitam yang dalam sebatang rokok dapat berjumlah 0,5 µg (Anonim, 20 agustus 2011).

Asap rokok merupakan aerosol yang mengandung sekitar 10^{10} partikel tiap ml-nya, termasuk karbon polimerik dengan poros tinggi dengan serapan logam berat, *polycyclic aromatic hidrokarbon (PAH)*, *aza-arenes*, *N-nitrosamines* dan berbagai jenis bahan kimia organik. Pada asap rokok paling tidak terdapat sekitar 3500 bahan kimia dan sebagian besar bahan ini bersifat racun, karsinogen atau mutagen seperti benzena,

cadmium, nikel, ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{228}Ra dan lain-lain. Paling tidak terdapat 55 zat karsinogen pada asap rokok yang telah diketahui oleh International Agency for Research on Cancer (IARC) (Valavanidis, 2009).

2.6 Spin Elektron

Atom merupakan satuan terkecil penyusun materi atau molekul. Atom terdiri dari elektron, proton dan neutron dengan proton dan neutron sebagai inti yang dikelilingi oleh elektron. Elektron tetap berada pada lintasan dan mengitari inti atom dikarenakan adanya gaya tarik elektromagnetik dan gaya sentrifugal yang menjaga elektron tetap berada pada tempatnya. Atom dikelompokkan berdasarkan jumlah proton dan neutron yang terdapat pada inti atom dengan jumlah proton menentukan sifat kimia molekul dan neutron menunjukkan isotop dari molekul (Beiser, 1987).

Goudsmith dan G.E Uhlenbeck pada tahun 1925 mengusulkan bahwa elektron memiliki momentum sudut intrinsik yang bebas dari momentum sudut orbitalnya dan terkait dengan momentum sudut terdapat momentum magnetik. Hal ini merupakan gambaran dari elektron sebagai bola bermuatan yang berputar pada sumbunya. Putaran ini berkaitan dengan momentum sudut, karena elektron bermuatan negatif, elektron yang bermomen magnetik μ_s yang arahnya berlawanan dengan arah vektor momentum sudut L_s .

Bilangan kuantum s digunakan untuk menunjukkan momentum sudut spin elektron. Besar S dari momentum sudut yang diakibatkan oleh spin elektron diberikan dalam bilangan kuantum spin s dengan rumusan:

$$S = \sqrt{s(s + 1)}\hbar \quad (2.1)$$

Rumusan untuk momentum sudut orbital L dari bilangan kuantum orbital l dapat diperoleh dengan rumusan:

$$L = \sqrt{l(l + 1)}\hbar \quad (2.2)$$

Dengan \hbar merupakan tetapan $\frac{h}{2\pi}$.

Dimana nomer kuantum spin menunjukkan besar spin S sama halnya dengan besar nilai L , dengan bilangan kuantum orbital l dapat bernilai:

$$l=0,1,2,3,\dots \quad (2.3)$$

Eksperimen menunjukkan bahwa bilangan kuantum spin s selalu memiliki nilai tetap yaitu $s=\frac{1}{2}$, dengan nilai spin ini maka dapat dikatakan bahwa S selalu memiliki besar yang sama sehingga

$$S = \sqrt{s(s+1)}\hbar = \sqrt{\frac{1}{2}(\frac{1}{2}+1)}\hbar = \frac{\sqrt{3}}{2}\hbar \quad (2.4)$$

Dan karena alasan ini spin terkadang dijabarkan sebagai momentum angular intrinsik dari elektron karena nilai S yang selalu sama.

Nilai yang memungkinkan untuk komponen z dari momentum angular orbital L memiliki bentuk:

$$L_z = m\hbar, \quad (2.5)$$

Dimana m merupakan nilai dari l hingga $-l$:

$$m = l, l-1, \dots, -l \quad (2.6)$$

Nilai S_z yang sesuai adalah

$$S_z = m_s\hbar \quad (2.7)$$

Dimana m_s merupakan bilangan bulat yang bernilai dari s hingga $-s$. Karena s bernilai $\frac{1}{2}$ maka kemungkinan yang ada hanya 2 nilai:

$$m_s = \frac{1}{2} \text{ atau } -\frac{1}{2} \quad (2.8)$$

Sehingga $S_z = \frac{1}{2}\hbar$ atau $-\frac{1}{2}\hbar$

Kita biasa menjabarkannya sebagai kemungkinan spin elektron dapat naik (up) ataupun turun (down) (Taylor, 1991).

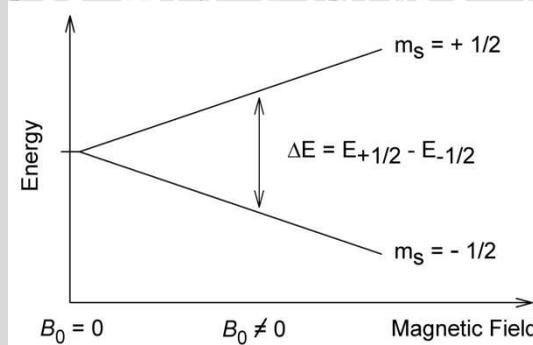
Keterangan:

S: momentum sudut spin s: bilangan kuantum spin

L: momentum sudut orbital l: bilangan kuantum orbital

m_s : bilangan magnetik spin ($\pm \frac{1}{2}$)

Setiap elektron memiliki momen magnetik dan nomor kuantum spin $s = \frac{1}{2}$, dengan komponen magnet $m_s = \frac{1}{2}$ dan $m_s = -\frac{1}{2}$. Dengan adanya medan magnet eksternal dengan kekuatan B_0 , momen magnetik elektron menyesuaikan diri baik paralel ($m_s = \frac{1}{2}$) atau antiparalel ($m_s = -\frac{1}{2}$) terhadap medan, masing-masing pemisahan memiliki energi tertentu. Keselarasan paralel sesuai dengan tingkat energi yang lebih rendah, dan energi pemisahan antara tingkat yang lebih rendah dan tingkat yang lebih tinggi adalah $\Delta E = g\mu_B B_0$, dimana g adalah nilai dari faktor g elektron dan μ_B merupakan magneton Bohr. Persamaan ini menunjukkan bahwa pemisahan tingkat energi berbanding lurus dengan kekuatan medan magnet, seperti yang ditunjukkan dalam diagram pemisahan energi elektron pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Diagram pemisahan energi elektron (Taylor, 1991)

2.7 Efek Zeeman

Efek Zeeman merupakan pemecahan garis spektrum energi menjadi beberapa komponen sebagai akibat adanya medan magnet statis. Pada kebanyakan atom terdapat beberapa konfigurasi elektron dengan besar energi yang sama, oleh karena

nya transisi antara konfigurasi elektron memiliki spektrum tunggal, kehadiran medan magnet ini akan mengubah posisi state elektron yang semula berada pada level energi yang sama. Hal ini dikarenakan medan magnet memberikan respon atau interaksi yang berbeda – beda pada elektron yang memiliki nomer kuantum yang berbeda. Sehingga menimbulkan pemecahan garis spektrum tunggal menjadi beberapa garis spektrum dengan jarak yang tipis (Condon, 15 agustus 2011).

Tanpa medan magnet konfigurasi garis spektrum yang terpecah memiliki energi yang sama. Kehadiran medan magnet mengakibatkan terjadinya pemisahan level energi.



Gambar 2.3 Pemisahan spektrum pada efek Zeeman (Condon, 15 agustus 2011)

Akibat dari pergerakan elektron maka atom dapat memiliki momentum magnetik μ . Oleh karenanya dengan memberikan medan magnet B maka tingkat energi atom dapat berubah sebesar $-\mu \cdot B$. Sehingga memberikan medan magnet dapat merubah spektrum atom (Beiser, 1987)(Taylor 1991).

Apabila medan magnet tidak ada maka atom memiliki energi E_0 , dan besar momentum sudutnya diberikan oleh bilangan kuantum l . Apabila diberikan medan magnet B pada atom maka akan muncul beda energi dengan besar:

$$\Delta E = -\mu \cdot B = \left(\frac{e}{2m_e}\right) L \cdot B \quad (2.9)$$

Jika sumbu z dipilih sebagai arah medan magnet maka persamaan dapat disederhanakan menjadi

$$\Delta E = -\mu \cdot B = \left(\frac{e}{2m_e}\right) L_z \cdot B \quad (2.10)$$

Atau karena nilai yang memungkinkan dari L_z adalah mh

$$\Delta E = -\mu \cdot B = \left(\frac{eh}{2m_e}\right) m \cdot B \quad (2.11)$$

(Taylor, 1991)

Mekanika kuantum mengungkapkan bahwa energi sebuah atom berelektron tunggal yang ditempatkan pada suatu medan magnet luar berubah dengan energi potensial (2.11), akan tetapi karena L_z terkuantisasi menurut (2.5) maka energi totalnya menjadi:

$$E = E_0 + E_B = E_0 + m_l \frac{eh}{2m} B \quad (2.12)$$

Dengan E_0 merupakan energi yang terkuantisasi sebelum medan magnet B diberlakukan. Sehingga dengan adanya medan magnet B maka tiap tingkatan energi E_0 akan terpisah dalam $2l+1$ subtingkat energi yang berjarak sama dengan jarak pisah berbanding lurus dengan medan magnet. Faktor $eh/2m$ disebut juga magneton bohr ($9,27 \times 10^{-24}$ J/T).



Gambar 2.4 Transisi elektron : (a) Transisi tanpa medan magnet. (b) Lima transisi dalam medan magnet

Untuk setiap kasus ini beda energi atau frekuensi antar garis baru akan berbanding lurus dengan besar medan magnet yang diterapkan (Ronald, 1999).

2.8 ESR (Elektron Spin Resonance)

Elektron spin resonance atau elektron paramagnetik resonance merupakan alat yang digunakan untuk mempelajari atom, molekul dan ion yang memiliki satu atau lebih elektron bebas atau tak berpasangan. Konsep ESR berkaitan dengan kenyataan bahwa sistem atom memiliki momen magnetik tetap (permanen). Level energi dari sistem magnetik dipengaruhi oleh

atom sekitar dan medan magnet luar (Anonim, 25 maret 2011). Ketika energi microwave foton sama dengan pemisahan antar level energi dari elektron tak berpasangan, maka terjadi penyerapan energi oleh sampel. Peristiwa inilah yang disebut dengan resonansi (Kaufman, 2003).

Konsep ESR sendiri juga dapat dijelaskan melalui perilaku dari elektron bebas. Berdasarkan teori kuantum elektron memiliki spin yang dapat dipahami sebagai momentum sudut yang mengemukakan momen magnetik. Muatan pada elektron juga berputar dan merupakan arus listrik yang beredar. Arus listrik yang mengalir menginduksi momen magnetik μ_s yang mana apabila elektron dipengaruhi atau dikenai oleh medan magnetik stabil H_0 , maka hubungan antara momen magnetik dengan vektor spin

$$\mu_s = \frac{g\mu_B}{h} S \quad (2.12)$$

Dengan μ_B merupakan bilangan magnetik bohr yang bernilai $9,27410 \cdot 10^{-24}$ Joule Tesla⁻¹, g merupakan faktor lande dengan nilai 2.0023 untuk elektron bebas (Anonim, 24 maret 2011).

Faktor g merupakan informasi pusat paramagnetik elektron. Elektron tak berpasangan tidak hanya merespon medan magnet yang diberikan oleh ESR tetapi ia juga merespon medan magnet oleh atom atau molekul disekitarnya. Nilai g dapat diketahui apabila Dengan persamaan resonansi maka diperoleh nilai g sebagai berikut:

$$h\nu = g\mu_B H_0 \quad (2.13)$$

Sehingga g menjadi

$$g = \frac{h\nu}{\mu_B H_0} \quad (2.14)$$

Dimana :

h : konstanta planck ($h=6,625 \times 10^{-34}$ Ws²)

μ_b : magneton Bohr ($\mu_b=9,273 \times 10^{-24}$ Am²)

ν : frekuensi resonansi (Hz)

H_0 : medan magnet eksternal (T)

Nilai g bergantung pada struktur elektron bahan, karenanya medan magnet yang diberikan harus dapat menggeser elektron disepanjang molekul dan oleh karenanya nilai g yang diperoleh tersebut dapat memberikan informasi struktural. Nilai g sendiri dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi bahan yang bersifat radikal bebas.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April sampai dengan juni 2011 bertempat di laboratorium Fisika Lanjutan FMIPA Brawijaya Malang.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu dua jenis rokok yang telah dibuang filternya yaitu rokok kretek dan jenis rokok putih, tabung atau pipet tetes sebagai tabung pengukuran, 2 selang dengan ukuran diameter $\pm 0,4$ mm dan $\pm 0,7$ mm, penghisap (suntikan 25 ml), korek api, cutter, gunting, kamera digital, alat tulis, dan satu set ESR Leybold-Heracus.

3.3 Prosedur Kerja

Prosedur kerja yang dilaksanakan pada penelitian ini dilakukan secara berurutan mulai dari pengumpulan sampel, perangkaian alat, pengukuran dengan menggunakan ESR, kemudian pengolahan data untuk menentukan nilai faktor-g radikal bebas.

3.4 Pengambilan sampel penelitian

Sampel yang diteliti dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis rokok yang mana sampel yang akan digunakan berbentuk asap. Sampel asap rokok diperoleh dengan cara membakar rokok yang telah dibuang bagian filternya diujung selang yang dihubungkan dengan pipet dan penghisap (suntikan) kemudian rokok dihisap dengan cara menarik suntikan secara berkala hingga asap mengalir dan terkumpul pada pipet pengukuran. Asap rokok yang telah terkumpul ini kemudian dialirkan dan ditiupkan kedalam pipet pendek yang sudah dibersihkan sebelumnya dan direndam selama kurang lebih 5 menit dan kemudian dikeringkan dan disumbat dengan kapas dan selanjutnya disambung dengan 2 jenis pipa.

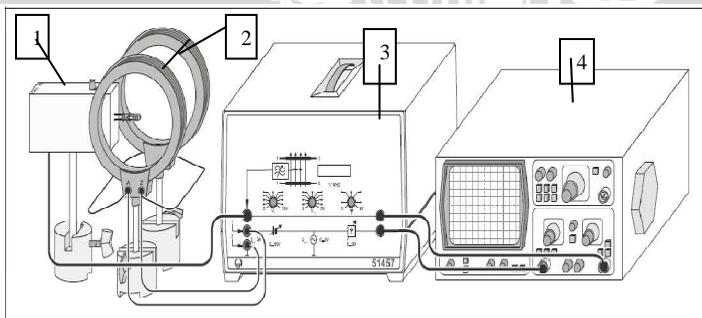
3.5 Cara Kerja

3.5.1 Persiapan Alat

ESR yang digunakan pada penelitian ini merupakan ESR skala eksperimen keluaran Leybold Heracus yang memiliki jangkauan frekuensi antara 13 MHz-130 MHz dengan arus masukan maksimum 3 A pada kumparan Hemholtz untuk menginduksi medan magnet. Informasi yang diperoleh dari pengukuran dengan ESR jenis ini adalah informasi frekuensi (f) dan arus (I) yang mana nilai-nilai ini dapat digunakan untuk melakukan perhitungan nilai faktor g pada sampel.

Alat dirangkai sesuai dengan gambar 3.1 dengan cara menyusun kumparan hemholtz secara paralel (berhadapan) dengan jarak antar kumparan Hemholtz 6,8 cm. Kumparan Hemholtz ini kemudian dihubungkan pada masukan positif multimeter kemudian detektor pada alat dasar ESR dihubungkan dengan alat pengendali ESR. Osiloskop pada rangkaian alat ini berfungsi sebagai penampil kurva resonansi. Osiloskop ini dihubungkan pada alat pengendali ESR dengan urutan chanel 1 dihubungkan dengan sumbu x dan chanel 2 dihubungkan pada sumbu y. tampilan kurva pada osiloskop ini merupakan tampilan kurva dengan pola lisajous.

Setelah alat dirangkai maka selanjutnya dilakukan pengkalibrasian alat dengan menggunakan Diphenyl Pieryl Hidrazil (DPPH).



Gambar 3.1 Rangkaian alat ESR Leybold-Heracus
Keterangan:

1. Alat dasar ESR
2. Kumparan Hemholtz
3. Alat pengendali ESR
4. Osiloskop

3.5.2 Persiapan Alat Pengumpul Sampel

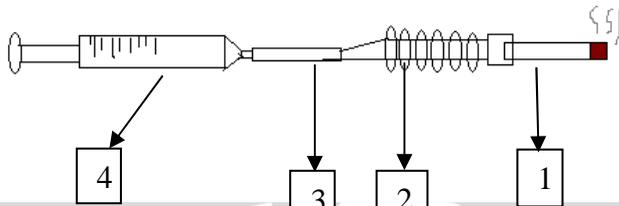
Pengambilan sampel dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu dengan cara ditarik langsung kedalam pipet pengukuran (Cara 1) dan dengan cara ditarik dan ditampung terlebih dahulu pada penghisap kemudian ditiupkan secara perlahan kedalam pipet (Cara 2) yang sebelumnya telah disumbat dengan kapas.

Persiapan alat pengumpul sampel cara 1 dilakukan dengan cara menyusun alat dengan urutan pipa pengukuran disambungkan dengan pipa berdiameter 0,7 mm sepanjang kurang lebih 3-5 cm pada satu sisi dan sisi lainnya dihubungkan dengan pipa berukuran 0,4 mm sepanjang 20 cm untuk menarik asap masuk ke dalam pipet pengukuran.



Gambar 3.2 Pemasangan alat pengumpul sampel 1

Ujung pipa dengan diameter lebih besar digunakan sebagai penahan rokok serta sebagai pengalir asap dari ujung rokok menuju pipet pengukuran. Kemudian ujung pipet yang lebih kecil dihubungkan dengan pipa berukuran kecil yang terhubung dengan penghisap, rangkaian ini dimaksudkan agar asap dapat mengalir kedalam pipet pengukuran ketika rokok menyala.



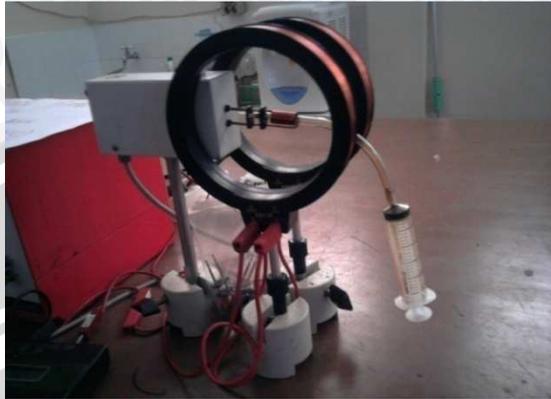
Keterangan:

1. Pipa ukuran 0,7 mm
2. Pipet
3. Pipa ukuran 0,4 mm
4. Penghisap

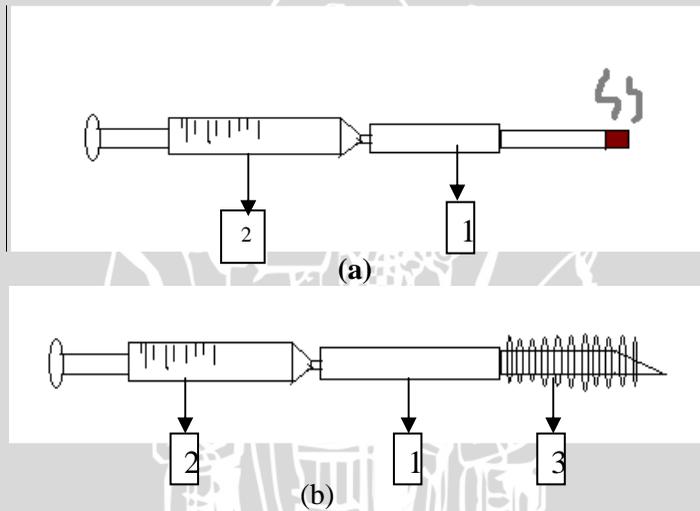
Gambar 3.3 Rangkaian pipet untuk pengukuran langsung (cara 1)

Persiapan alat pengumpul sampel lainnya juga dilakukan dengan cara menyiapkan tabung pipet yang salah satu ujung disumbat dengan kapas dan ujung lainnya dihubungkan dengan pipa berukuran diameter 0,7 mm dengan panjang 10 cm. Penghisap sebelumnya dihubungkan dengan pipa berukuran 0,7 mm sepanjang 2 cm untuk menghisap asap dari batang rokok dan kemudian dikumpulkan atau ditampung pada tabung penghisap. Setelah tabung penghisap penuh dan tampak pekat dengan asap, baru kemudian asap ditiupkan secara perlahan kedalam pipet pengukuran melalui pipa hingga pipet pengukuran dinilai cukup pekat dengan asap.

Sebelumnya pipet pengukuran yang terletak didalam kumparan induksi disumbat dengan kapas. Penyumbatan dengan kapas ini dimaksudkan untuk memampatkan gas dengan tetap membuat aliran udara. Pada metode ini sampel yang akan diukur tidak dialirkan langsung dari ujung rokok yang salah satu sisinya dibakar akan tetapi sampel terlebih dahulu ditampung dalam tabung penghisap dan kemudian sampel di masukkan kedalam pipet dengan bantuan injektor.



Gambar 3.4 Pemasangan alat pengumpul sampel 2



Keterangan:

1. Pipa ukuran 0,7 mm
2. Penghisap
3. Pipet pengukuran

Gambar 3.5 Rangkaian pipet cara 2 : (a), (b) rangkaian pipet untuk pengukuran Tiup (cara 2)

3.5.3 Penggunaan Pipet Sebagai Wadah Sampel

Pada pengukuran ini pipet pengukuran ESR diganti dengan pipet tetes sebagai wadah pengukuran. Pipet digunakan sebagai wadah pengukuran dikarenakan sulitnya memperoleh tabung ESR. Dimana berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan judul 'Identifikasi Radikal Bebas Pada Limbah Hasil Proses Terapi Pembaluran Dengan Menggunakan Electron Spin Resonance Leybold-Heracus (Frekuensi Tinggi)' (Tica, 2008) diketahui bahwa pipet tetes layak sebagai wadah pengukuran. Serta diketahui bahwa pipet tetes tidak mempengaruhi hasil dari resonansi.

3.5.4 Kalibrasi DPPH

ESR merupakan alat yang dapat digunakan untuk mendeteksi radikal bebas. Pada penelitian untuk mengidentifikasi radikal bebas pada asap rokok digunakan jenis ESR Leybold-Heracus. ESR ini digunakan karena alat ini dapat mendeteksi adanya elektron bebas tak berpasangan seperti radikal bebas. Informasi yang diberikan atau ditunjukkan oleh alat ini berupa frekuensi resonansi (f) dan arus induksi (I). Gambar resonansi material yang mengandung radikal bebas akan memberikan gambar resonansi berupa gambar dengan cekungan yang mirip dengan huruf v.

Kalibrasi dengan DPPH dilakukan dengan tujuan memberikan gambaran keakuratan pengukuran ESR Leybold Heracus. Kalibrasi dilakukan setelah alat diset dan dirangkai sesuai dengan gambar 3.1. Kemudian dilakukan pengaturan arus terlebih dahulu kemudian dilakukan pengaturan frekuensi agar diperoleh gambar resonansi yang jelas.

Kalibrasi dilakukan dengan cara memasukan DPPH kedalam tabung ESR kemudian ditempatkan ditengah – tengah kumparan. Pengukuran dilakukan dengan cara mengatur arus yang diikuti dengan pengaturan frekuensi hingga diperoleh kurva cekung membentuk huruf v, yang mana jangkauan frekuensi ini juga bergantung pada jenis kumparan arus yang digunakan. setelah itu dilakukan pengaturan beda fase secara perlahan sedikit demi sedikit

hingga diperoleh bentuk kurva simetris. Setelah itu dilakukan pencatatan nilai arus (I) dan frekuensi (f) dari alat ESR. Kemudian dilakukan penghitungan nilai faktor g dengan memasukkan nilai arus dan frekuensi dari alat kedalam rumusan untuk perhitungan nilai faktor g . Menurut literature nilai faktor g dari DPPH adalah sebesar 2,0036 selanjutnya hasil perhitungan dibandingkan dengan teori.



Gambar 3.6 Bentuk resonansi

3.5.5 Persiapan dan Pengukuran Sampel

Persiapan sampel dilakukan dengan cara membakar rokok yang telah dibuang bagian filternya di ujung selang yang dihubungkan dengan pipet dan penghisap (suntikan). Kemudian rokok dihisap dengan cara menarik suntikan secara berkala hingga asap mengalir dan terkumpul pada pipet pengukuran dan tabung peghisap. Sampel rokok yang digunakan pada penelitian ini hanya terdiri dari satu merk rokok untuk masing – masing jenis rokok, hal ini dilakukan karena penulis mengasumsikan bahan penyusun masing – masing jenis rokok untuk tiap merk adalah sama.

Setelah itu sampel dalam tabung atau pipet yang terletak di tengah - tengah kumparan yang mana kumparan yang dipilih adalah kumparan yang sesuai jangkauan frekuensinya dengan sampel, seperti yang diketahui ESR Leybold Heracus memiliki 3 kumparan arus yang masing-masing memiliki jangkauan frekuensi yang berbeda- beda. Pengamatan dilakukan pada hasil bentukan kurva pada osiloskop apakah muncul resonansi yang berbentuk

cekungan. Kemudian diamati dan direkam data kurva nya pada osiloskop dan juga dilakukan pencatatan data untuk nilai arus (I) dan frekuensi (f) guna memperoleh nilai faktor-g dengan terus melakukan penghisapan asap agar asap tetap berada pada pipet pengukuran.

Pengukuran dapat juga dilakukan dengan cara meniupkan asap rokok pada pipa yang sebelumnya telah dihisap menggunakan injeksion (suntikan penghisap) hingga didapatkan kepekatan yang diinginkan. Kemudian dilakukan pengaturan arus dan frekuensi yang sesuai hingga muncul gambar resonansi pada osiloskop, setelah muncul gambar resonansi maka dilakukan pencatatan data nilai frekuensi (f) dan arus (I). Pada pengukuran dengan cara 2 ini juga dilakukan pengontrolan kepekatan asap dalam pipet pengukuran. Hal ini dilakukan dengan cara meniupkan asap dalam pipet secara kontinu agar kepekatannya dapat setara dan stabil.

Pengambilan data berupa frekuensi dan arus dilakukan dengan melakukan pengamatan terhadap bentuk resonansi pada layar osiloskop dan perubahan fase agar terbentuk resonansi simetris. Setelah diperoleh gambar resonansi yang simetris dan berbentuk cekungan seperti huruf v (gambar 3.6), maka kemudian dilakukan pencatatan nilai arus dan frekuensi. Pencatatan data dilakukan sebanyak lima kali untuk satu nilai arus dan gambar resonansi. Dimana perubahan hanya dilakukan untuk nilai frekuensi saja.

3.6 Analisa Data

3.6.1 Perhitungan nilai B dan g

Perolehan data pada penelitian ini berupa nilai arus (I) dan frekuensi (f), serta gambar kurva resonansi, dengan adanya besaran – besaran ini maka faktor-g dapat ditentukan. Akan tetapi sebelumnya dilakukan penghitungan besar medan eksternal oleh kumparan dengan rumusan

$$B = \mu_0 \left(\frac{4}{\pi}\right)^{3/2} \frac{n}{r} I \quad (3.1)$$

Dimana

- μ_0 : $1,2566 \times 10^{-6}$ Vs/Am
- n : jumlah lilitan
- r : jari – jari kumparan
- I : besar arus pada kumparan

Setelah nilai medan magnet eksternal diketahui (B) maka nilai faktor g dapat diperoleh dengan rumusan:

$$hf = g\mu_B B \quad (3.2)$$

sehingga diperoleh nilai g :

$$g = \frac{hf}{\mu_B B} \quad (3.3)$$

Hasil perhitungan nilai faktor g diperoleh dari lima kali pengulangan pengambilan data untuk masing – masing sampel, dengan nilai faktor g yang ditampilkan adalah nilai faktor g rata-rata dari banyak pengulangan. Oleh karenanya deviasi nilai g dengan menggunakan rumusan sebagai berikut:

$$\delta g = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^k |g - \bar{g}|^2}{k(k-1)}} \quad (3.4)$$

Keterangan:

- h : tetapan plank
- f : frekuensi
- g : Faktor Lande
- μ_B : Bilangan magnetik Bohr
- B : Medan magnet eksternal

3.6.2 Pengolahan Data

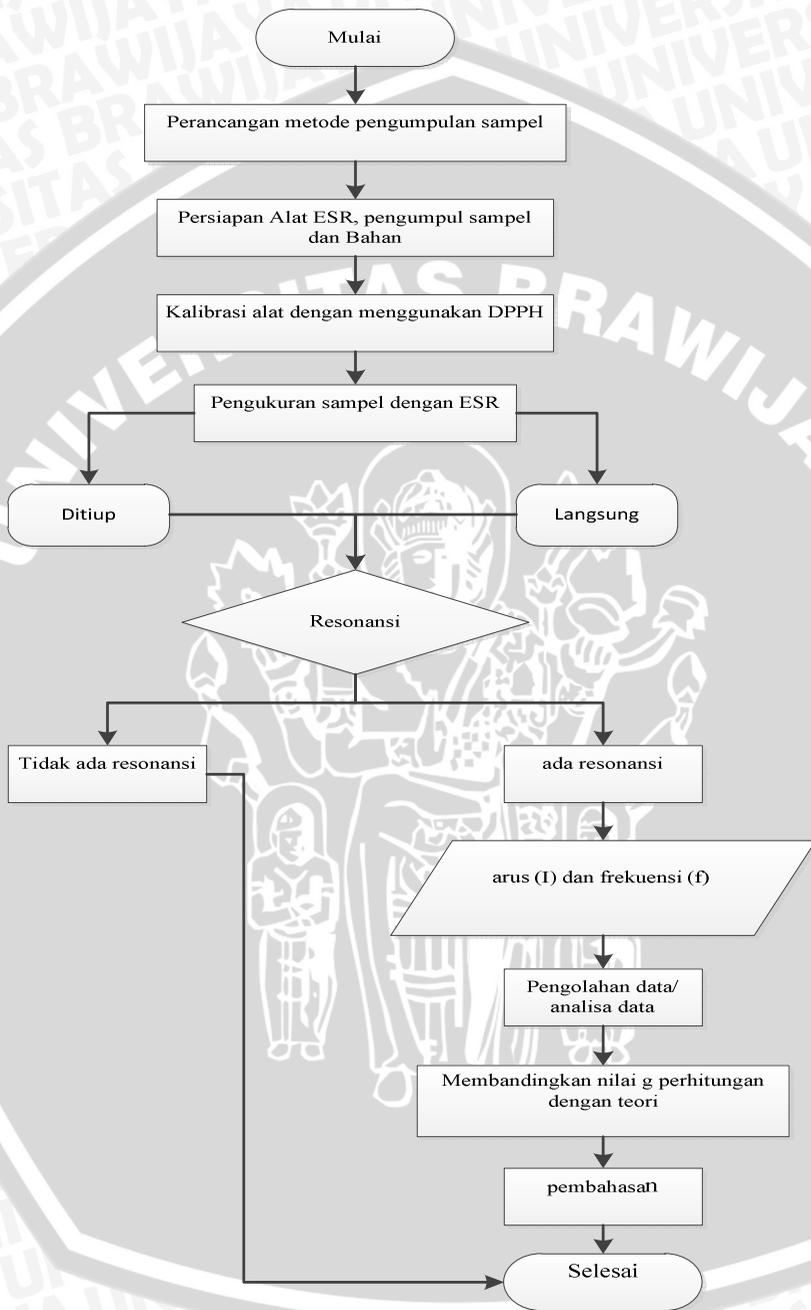
Analisis data melalui perhitungan dari perolehan pengukuran rokok kretek dan rokok putih dibandingkan. Serta dibahas faktor - faktor yang mempengaruhi perbedaan perolehan data. Hasil perhitungan nilai faktor g nantinya akan dibandingkan dengan nilai dari literatur yang sesuai yang mana data yang digunakan sebagai pembanding merupakan data sekunder.

3.7 Diagram Alir Kerja

Penelitian ini akan dilaksanakan secara berurutan sesuai dengan diagram alir kerja berikut ini:

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kalibrasi ESR

ESR merupakan alat yang dapat digunakan untuk mendeteksi radikal bebas. Pada penelitian untuk mendeteksi radikal bebas pada asap rokok digunakan jenis ESR Leybold-Heracus. ESR ini digunakan karena alat ini dapat mendeteksi adanya elektron bebas tak berpasangan seperti radikal bebas. Informasi yang diberikan atau ditunjukkan oleh alat ini berupa frekuensi resonansi (f) dan arus induksi (I). Gambar resonansi material yang mengandung radikal bebas akan memberikan gambar resonansi berupa gambar dengan cekungan yang mirip dengan huruf v. Akan tetapi ketajaman atau kecuraman cekungan bergantung pada konsentrasi radikal bebas pada bahan yang dideteksi.

4.1.1 Kalibrasi dengan DPPH

Sebelum digunakan alat ESR leybold Heracus dikalibrasikan terlebih dahulu dengan menggunakan DPPH (Diphenyl Pieryl Hidrazil), dengan susunan alat sesuai dengan gambar rangkaian alat pada gambar 3.1 agar diperoleh gambar resonansi yang simetris. Kalibrasi ini dilakukan untuk memberikan gambaran keakuratan perolehan data pengukuran yang nantinya akan dilakukan. Untuk DPPH pada frekuensi 42,8-43,2 dengan medan magnet sebesar 1,5316386 mT diperoleh nilai g rata-rata sebesar 2,0057. Nilai ini mendekati nilai literatur dari faktor g DPPH yaitu 2,0036.



Gambar 4.1 Resonansi dengan menggunakan DPPH

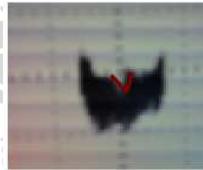
4.2 Resonansi Pada ESR

Resonansi pada ESR merupakan keadaan ketika elektron mengalami eksitasi dan spinnya terpisah sejauh E akibat adanya serapan frekuensi gelombang elektromagnet. F merupakan pusat frekuensi sumber dari energi radiasi. Besarnya transisi ditunjukkan oleh energi yang harus diserap melalui osilasi medan magnet B untuk dapat menggerakkan spin elektron dari state rendah ke tingkat yang lebih tinggi.

Proses resonansi pada ESR jenis ini didasarkan pada interaksi gelombang elektromagnet yang memiliki frekuensi f dengan sistem spin atom paramagnetik yang berada dalam medan magnet Helmholtz B. Resonansi pada penelitian ini diperoleh melalui pengaturan arus sebagai penentu medan magnet dan frekuensi sebagai indikasi lebar energi pemisahan yang merupakan karakter dari masing-masing jenis unsur maupun senyawa. Interaksi gelombang elektromagnet dan sistem spin atom akan menimbulkan perubahan intensitas akibat adanya serapan gelombang elektromagnet oleh spin atom yang nantinya akan teramati pada layar osiloskop. Resonansi pada ESR Leybold Heracus ditunjukkan dengan tampilan kurva cekung yang membentuk huruf v.



(a)



(b)

Gambar 4.2 Hasil resonansi (a) Gambar resonansi 1, (b) Gambar resonansi 2

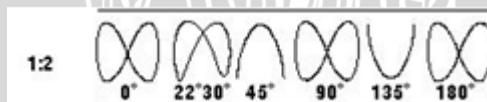


Gambar 4.3 Bukan resonansi

Perbedaan dari gambar dengan resonansi dan gambar tanpa resonansi terletak pada bentuk gambar yang menunjukkan cekungan yang bentuknya mirip seperti huruf v seperti yang ditunjukkan oleh garis merah pada gambar. Meskipun bentuk cekungan tidak dalam namun hal ini cukup mengindikasikan bahwa terdapat radikal bebas pada zat yang diamati, kecuraman cekungan sendiri dipengaruhi oleh konsentrasi radikal pada zat atau senyawa.

Selain hanya sekedar melihat ada tidaknya cekungan dari gambar. Pada tampilan dari osiloskop dapat dilihat kejelasan dari gambar resonansi yang berbentuk v. Dimana pada gambar (a) diperoleh gambar dengan kejelasan pola yang cukup baik dimana lebar cekungan v pada osiloskop adalah 0,6 div. Sedangkan untuk gambar (b) diperoleh gambar resonansi dengan cekungan yang sempit dengan lebar cekungan berbentuk v sebesar 0,4 div. Melalui 2 gambar ini dapat dilihat bahwa jenis radikal bebas dalam sampel pada gambar resonansi (a) memiliki konsentrasi radikal yang lebih tinggi dibanding jenis radikal pada sampel (b) sedangkan untuk gambar 4.3 tidak terdapat cekungan yang mendekati bentuk v sehingga dapat dikatakan bahwa pada kasus ini tidak terdapat radikal bebas yang terdeteksi.

Bentuk gambar resonansi yang tertampil pada osiloskop merupakan pola lisajous dengan ratio frekuensi x:y adalah 2:1, dengan beda fase yang dapat diubah – ubah dari 0° - 180° . Berdasarkan literatur bentuk sempurna pola gambar resonansi pada ESR ini merupakan pola lisajous dengan beda fase 45° dan 135° . Bentuk pola lisajous yang ditampilkan pada osiloskop merupakan hasil penggabungan frekuensi masukan hf (x), medan magnet, dan serapan frekuensi (resonansi)



Gambar 4.4 Gambar pola lisajous (Orion, 25 mei 2011)

Bentukan sinyal lisajous terjadi akibat penggabungan 2 gelombang sinus. Dimana pola terjadi karena pembentukan dari titik - titik lintasan pada osiloskop yang dipengaruhi oleh

amplitude masing – masing gelombang sinus dan frekuensi gelombang. Seluruh gambar tampilan resonansi menunjukkan pola lisajous dengan fase $45^\circ / 135^\circ$ dan $0^\circ / 90^\circ / 180^\circ$ untuk gambar pola resonansi yang berbentuk kupu-kupu, namun bentukan pola pada osiloskop tidak cekung sempurna. Hal ini dipengaruhi oleh ratio sinyal-noise pada pengukuran dan seting alat, konsentrasi radikal bebas serta serapan frekuensi oleh sampel.

4.3 Resonansi Pada Dua Metode

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa gambar resonansi merupakan bentukan kurva berbentuk cekungan yang mirip dengan huruf v. Setelah dilakukan pengukuran dan pengamatan diketahui bahwa kedua metode ini sama-sama memberikan gambar resonansi. Dimana hasil resonansi yang tertampil pada osiloskop adalah gambar resonansi yang mirip. Sehingga dapat dikatakan bahwa kedua metode ini dapat digunakan untuk menentukan nilai faktor g dan radikal bebas pada asap rokok.

Dari seting arus yang dilakukan diperoleh nilai arus yang berdekatan untuk pengukuran asap rokok kretek dari dua metode ini, yaitu 0,275 A untuk metode langsung dan 0,280A untuk metode injeksi (lihat lampiran B). Kedua nilai setingan arus ini memberikan bentukan resonansi pada osiloskop yang mirip. Sehingga dapat dikatakan bahwa kedua metode ini tidak memberikan perbedaan hasil resonansi yang signifikan.

4.4 Identifikasi Radikal Bebas Pada Asap rokok putih dan kretek

Asap rokok merupakan aerosol heterogen dari hasil pembakaran tembakau, komponen dalam rokok, serta pembungkusnya. Setiap batang rokok mengandung banyak bahan kimia diantaranya: nikotin, Co, dan tar yang bersifat karsinogenik serta radikal bebas seperti nitric oxide ($-\text{NO}, -\text{NO}_2$) dll. Radikal bebas merupakan oksidan yang dapat berdampak negatif antara lain mengganggu integritas sel dan berinteraksi dengan komponen sel.

Pada penelitian ini digunakan 2 jenis rokok yaitu rokok putih dan rokok kretek. Setelah dilakukan pengukuran maka diperoleh hasil sebagai berikut:

Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa masing – masing jenis rokok menunjukkan adanya kandungan radikal pada asap hasil pembakaran rokok. Untuk rokok kretek diperoleh resonansi dengan arus 0,275 A, frekuensi 33,3 MHz dengan medan magnet sebesar 1,164 mT dan nilai faktor g rata- rata 2,0389 , diperoleh resonansi juga dengan arus 0,280 A, pada frekuensi 32,8 MHz dengan medan magnet sebesar 1,1850 mT dan nilai faktor g rata – rata yaitu 1,9775. Diperoleh resonansi lagi dengan arus 0,600 A pada frekuensi 65,3 dengan medan magnet sebesar 2,5390 mT dan nilai faktor g rata – rata 1,8368 dan juga ditemukan pada arus 0,620 A dengan frekuensi 55,3 dengan medan magnet sebesar 2,6234 mT dan nilai faktor g rata – rata 1,5060.

Tabel 4.1: Hasil pengukuran

Jenis Rokok	Arus (A)	Frekuensi (MHz)	B(mT)	Faktor g
Kretek	0,275	33,3	1,164	2,0389
	0,280	32,8	1,1850	1,9775
	0,600	65,3	2,5390	1,8368
	0,620	55,3	2,6234	1,5060
Putih	0,248	32,4	1,0493	2,2060
	0,303	33,4	1,2820	1,8618
	0,597	70,8	2,5259	2,0025
	0,263	32,7	1,1127	2,0994
	0,474	56,1	2,0055	1,9985
	0,268	35,3	1,1339	2,2241

Untuk jenis rokok putih diperoleh resonansi dengan arus 0,248 A, pada frekuensi 32,4 MHz dengan medan magnet sebesar 1,0493 mT dan nilai faktor g sebesar 2,2060, kemudian ditemukan juga resonansi dengan arus 0,597 pada frekuensi 70,8 MHz dengan medan magnet sebesar 2,5259 mT dan nilai faktor g rata – rata 2,0025 dan ditemukan juga pada arus 0,303 A dengan frekuensi 33,4 dengan medan magnet sebesar 1,2820mT dan nilai faktor g rata – rata 1,8618. Rokok putih juga memberikan resonansi pada arus 0,263 A dengan frekuensi 32,7 dengan medan magnet sebesar 1,1127 mT dan nilai faktor g rata – rata sebesar 2,0994, terdapat juga dengan arus 0,474 A, pada frekuensi 56,1 MHz dengan medan magnet sebesar 2,0055 mT dan nilai

faktor g rata - rata 1,9985 dan juga pada arus 0,268 A dengan frekuensi 35,3 dengan medan magnet sebesar 1,1339 mT dan nilai faktor g rata- rata 2,2241.

Nilai – nilai faktor g yang beraneka ragam ini dapat menunjukkan kandungan jenis radikal bebas yang berbeda – beda, pada masing – masing jenis rokok.

Keragaman rentang frekuensi sendiri dapat menunjukkan perbedaan jenis zat atau jenis radikal yang terkandung dalam sampel karena frekuensi menunjukkan energi pisah resonansi dari zat melalui serapan elektromagnet.

Nilai faktor g radikal bebas dapat bernilai antara 1,9-2,1 (Atkins, 1999). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Valvadis diketahui bahwa radikal bebas yang terdapat pada asap rokok merupakan radikal dengan pusat oksigen, yang mana jenis radikal yang ditemukan adalah NO_x , O_2^- , serta radikal dengan pusat karbon yang relatif lebih stabil (Valavanidis,2009). Dengan mengacu pada tabel 4.1 maupun tabel 4.2 dapat diperoleh informasi bahwa terdapat radikal bebas pada asap rokok baik untuk jenis rokok putih maupun rokok kretek.

Dari perolehan penelitian untuk jenis rokok putih pada frekuensi 70,8 dengan arus 0,597 A diperoleh nilai faktor g sebesar 2,0025 nilai ini mendekati nilai dari radikal karbon yang bernilai 2,0028. Sehingga dapat dikatakan bahwa jenis radikal bebas yang terkandung pada jenis rokok ini merupakan radikal karbon . Namun kandungan senyawa dengan karbon pada asap rokok jumlahnya cukup banyak antara lain jenis hidrokarbon seperti butane,toluene, benzoenpyrene, methanol, phenol dan juga karbon monoksida yang sangat reaktif dan karbon dioksida sehingga nilai faktor g nya dapat berbeda dari literatur.

Dari nilai faktor g untuk jenis rokok putih diperoleh nilai faktor g sebesar 2,2060 untuk frekuensi 32,4 dengan arus 0,248. Selain itu juga diperoleh nilai faktor g sebesar 2,224 dengan frekuensi 35,3 dengan arus 0,268 A , kemudian juga ditemukan faktor g dengan nilai 2,0994 dengan frekuensi 32,7 dan arus 0,263 A, ketiga nilai faktor g ini merupakan nilai faktor g dari ikatan kompleks logam Cu yang mana ikatan Cu dapat terjadi karena diketahui dalam tembakau dan asap tembakau ditemui adanya kandungan Cu sehingga tidak menutup kemungkinan ketika

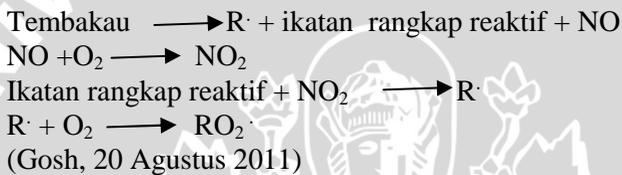
pembakaran logam Cu berikatan dengan jenis ikatan lain sehingga terdapat 3 nilai yang berbeda dan bersifat radikal. Dari tabel 4.2 juga dapat diperoleh informasi bahwa terdapat nilai radikal bebas yang mendekati nilai radikal jenis oksigen yang nilainya sebesar 1,5010 yang mana pada hasil eksperimen diperoleh nilai faktor g yang bernilai 1,5060 dengan frekuensi 55,3 dan arus 0,620 A. selain nilai faktor g 1,5060 juga ditemukan nilai faktor g 2,0389 yang diduga juga sebagai radikal dioksigen, perbedaan nilai ini dapat dikarenakan bentuk ikatan radikal, sehingga meskipun pusat atau pun jenis radikal sama, namun nilai faktor g yang diperoleh dapat berbeda. Selain jenis logam Cu pada penelitian ini juga diduga terdapat radikal dari jenis logam mangan (Mn) dan besi (Fe) yang mana nilai faktor g dengan ikatan Mn_2O_2 adalah 1,8368 dan untuk ikatan FeS diperoleh nilai faktor g sebesar 1,8618. Kedua jenis logam ini diketahui terdapat dalam daun tembakau serta asap tembakau (Alan, 2009). Jenis ikatan FeS sendiri merupakan jenis senyawa yang terdapat pada daun tembakau. Ditemukan juga nilai faktor g yang bernilai 1,9985 yang mana nilai ini dapat mengindikasikan 2 jenis radikal yaitu SO_4 dan CO_2 kedua jenis senyawa ini sangat memungkinkan terdapat pada asap rokok karena dalam penelitian kandungan asap tembakau, ditemukan adanya kandungan sulfur yang mana unsur ini merupakan serapan unsur dari tanah oleh daun.

Tabel 4.2. Daftar nilai faktor g hasil penelitian

Jenis Rokok	Faktor g	Jenis radikal
Kretek	2,0389	Oksigen O_2
	1,9775	Karbon dioksida (CO_2)
	1,8368	Mn_2O_2
	1,5060	Oksigen (O)
Putih	2,2060	Ikatan Cu kompleks/Ni
	1,8618	FeS
	2,0025	Ikatan karbon (C)
	2,0994	CuO_x
	1,9985	SO_4/CO_2
	2,2241	Ikatan Cu kompleks

Pembakaran tembakau (merokok) sama seperti materi organik lainnya juga dapat menghasilkan radikal bebas melalui

proses oksidasi yang melibatkan reaksi homolitik. Temperature tinggi yang dihasilkan selama proses merokok mampu dengan mudah memecah ikatan yang menyebabkan pembentukan radikal bebas. Selain melalui proses pembakaran, radikal bebas dapat juga terjadi melalui reaksi yang melibatkan NO_x pada asap rokok. Spesies ini terlibat dalam pembentukan radikal dengan pusat oksigen melalui penambahan nitrogen dioksida pada senyawa tak jenuh. Hal ini dapat memicu pembentukan radikal dengan pusat karbon, yang kemudian bereaksi dengan oksigen atmosfer menjadi radikal dengan pusat oksigen. Berikut diberikan skema reaksinya:



Rokok yang terbuat dari daun tembakau kering, kertas dan zat perasa, dapat dibentuk dari unsur Carbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N) dan Sulfur (S) serta unsur-unsur lain yang berjumlah kecil. Dalam bentuk sederhana, rokok secara keseluruhan dapat diformulasikan secara kimia sebagai $(\text{C}_v\text{H}_w\text{O}_t\text{N}_y\text{S}_z\text{Si})$. Pada rokok terjadi 2 proses pembakaran yaitu reaksi yang melibatkan oksigen yang diberikan pada skema:



reaksi ini terjadi apabila suhu pembakaran mencapai 800°C .

Selain reaksi yang melibatkan oksigen, berlaku juga reaksi yang terjadi akibat pemanasan dan tanpa melibatkan oksigen yang biasa disebut reaksi pirolisa. Reaksi ini terjadi pada suhu dibawah 800°C , atau berada pada kisaran suhu 400°C - 800°C . pada reaksi ini dihasilkan ribuan senyawa kimia dengan struktur kompleks (Putra,2005).

Pada asap rokok seperti yang diketahui mengandung banyak radikal bebas. Salah satu sumber radikal bebas pada asap

rokok adalah Tar. Meskipun tar tidak dapat berikatan dengan DNA namun radikal ini dapat mereduksi oksigen menjadi O_2^- yang kemudian terdimutasi menjadi H_2O_2 dan kemudian terdekomposisi dengan metal transisi seperti besi (Fe) dan tembaga (Cu) yang nantinya akan membentuk jenis ikatan HO[•] yang sangat reaktif yang dapat mengakibatkan mutasi genetik.

Sulfur diketahui merupakan materi yang merupakan nutrisi bagi tumbuhan. Sulfur diserap oleh tumbuhan dalam bentuk SO_4 dan beberapa mungkin tereduksi selama proses asimilasi dan tergabung dalam komponen amino acid protein endogen (Alan, 2009). Sulfat pada asap rokok terdeteksi pada ESR dikarenakan adanya kandungan SO_4 pada daun tembakau akibat penyerapan unsur sulfat dari tanah. Meskipun daun tembakau ini telah dikeringkan namun tidak menutup kemungkinan senyawa ini tetap berada pada helaian daun tembakau. Sehingga ketika terjadi pembakaran, senyawa sulfat dari komponen daun tembakau tetap ada dan kemungkinan terdapat pada fase partikulat dari asap rokok sehingga jenis radikal sulfat dapat terdeteksi. Unsur sulfur juga diketahui tersimpan pada gugus protein dan asam amino.

Pada asap rokok juga ditemukan jenis ikatan oksigen dan karbon dioksida, kedua zat gas ini merupakan jenis gas yang umum terdapat pada daun tembakau dan merupakan gas yang banyak terdapat pada atmosfer. Munculnya gas-gas tersebut terjadi akibat proses pembakaran dan tidak menutup kemungkinan muncul dari udara sekitar (atmosfir). Dimana ketika rokok dibakar dan kemudian dihisap, maka terjadi perputaran udara, akibat perputaran ini oksigen dalam atmosfer masuk kedalam gulungan rokok. Oksigen sendiri juga merupakan komponen penting dalam proses pembakaran. Oksigen juga dapat muncul sebagai hasil dari pembakaran yang mana pembakaran mengakibatkan pelepasan ikatan dan pelepasan gas yang terdapat pada daun tembakau ini.

Karbon dioksida juga ditemukan dalam asap rokok. Jumlah atau konsentrasi karbon dioksida cenderung bertambah seiring dengan jumlah hisapan rokok. Semakin pendek batang rokok maka produksi karbon dioksida akan meningkat. Dalam proses pembakaran dengan melibatkan oksigen umumnya

dihasilkan karbon dioksida dan karbon monoksida , akan tetapi karbon monoksida muncul sebagai hasil pembakaran tak sempurna dan diketahui karbon monoksida memiliki sifat racun yang tinggi karena sifatnya yang sangat mudah berikatan dengan hemoglobin. Dalam penelitian ini diperkirakan munculnya gas karbon dioksida berasal dari produk hasil pembakaran rokok dan komponen-komponennya dengan sumbangan oksigen dari atmosfer selama proses merokok (penghisapan). Karbondioksida juga dapat muncul akibat proses pirolisis dari senyawa ester seperti etil asetat dan isobutil asetat.

Pada penelitian ini juga ditemukan radikal yang berikatan dengan unsur logam seperti Mn, Fe, dan Cu. Ketiga jenis logam ini merupakan nutrisi tumbuhan yang berasal dari tanah. Logam – logam ini memegang peranan dalam proses metabolisme enzim dalam tumbuhan dan transpor elektron. Diperkirakan logam – logam yang terdeteksi merupakan logam yang terdapat dalam daun tembakau kering yang sebelumnya berikatan dengan enzim maupun unsur lainnya. Akibat proses pembakaran dan pemanasan maka terjadi pemutusan ikatan sehingga logam terdistribusi dalam asap rokok dan berikatan dengan molekul lain sehingga membentuk senyawa radikal.

Perbedaan nilai faktor g yang diperoleh antara rokok kretek dan putih dapat dikarenakan adanya perbedaan jenis kandungan bahan baku dan tekstur pada rokok sehingga mempengaruhi pembakaran dan produksi asap, yang mana rokok kretek memiliki campuran cengkeh sehingga dalam hal tekstur rokok kretek cenderung lebih kasar yang mana texture dapat juga mempengaruhi proses pembakaran. Ketika dilakukan pengujian dengan menggunakan gas kromatografi dalam asap rokok kretek ditemukan lima senyawa yang tidak ditemukan pada rokok putih yaitu eugenol, acetyl eugenol, B-carophyllene, x-humulene, dan caryophyllene epoksid. Eugenol merupakan kandungan minyak yang terdapat pada cengkeh yang mana senyawa ini mempengaruhi produksi tar sehingga rokok kretek memiliki kadar tar yang tinggi. Hal ini menyebabkan asap rokok kretek tampak lebih pekat dan hitam.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

ESR Leybold Heracus dapat digunakan untuk mendeteksi radikal bebas pada asap rokok dengan kejelasan resonansi yang cukup baik. Perbedaan hasil resonansi pada dua cara pengukuran tidak terlihat signifikan sehingga dapat dikatakan perbedaan teknik tidak memiliki pengaruh besar pada hasil pengukuran. Dari hasil perolehan nilai faktor g diketahui asap rokok mengandung radikal bebas baik pada jenis rokok kretek maupun rokok putih. Hal ini ditunjukkan dengan perolehan nilai faktor g antara 1,5-2,04 dengan dugaan jenis radikal bebas untuk rokok kretek yaitu dugaan radikal O_2 , CO_2 dan Mn_2O_2 dan untuk rokok putih diperoleh dugaan jenis radikal FeS , C , dan CO_2/SO_4 . Terdapat pula nilai faktor g dengan nilai 2,099-2,224 yang hanya terdeteksi pada rokok putih dengan dugaan radikal ikatan Cu kompleks dan CuO_x . Jenis radikal yang terdeteksi ini merupakan radikal dengan jenis ikatan logam transisi (senyawa inorganik) dan jenis radikal organik seperti ikatan dengan pusat karbon, oksigen dan sulfat. Perbedaan nilai hasil perolehan antara rokok kretek dan putih dikarenakan adanya perbedaan kandungan penyusun rokok tersebut. Perbedaan ini ditunjukkan melalui hasil perolehan faktor g dan kandungan jenis radikal akan tetapi terdapat satu jenis radikal yang sama yaitu CO_2 .

5.2 Saran

Dalam penelitian berikutnya sebaiknya dilakukan sistem otomatisasi dalam penarikan atau pengambilan sampel asap agar konsentrasi asap pada tabung atau pipet pengukuran menjadi seragam dan lebih mudah. Sebaiknya dilakukan uji komposisi terlebih dahulu untuk mengetahui lebih jelas kandungan senyawa dan unsur dari asap rokok baik untuk rokok kretek maupun rokok putih. Dalam penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan pengukuran terhadap parameter suhu dan tekanan pada saat pengaliran sampel untuk mengetahui pengaruh perbedaan nilai tiap – tiap parameter ini.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- Alan Rodgman, T. 2009. The Chemical Components of Tobacco. CRC Press. USA.
- Anonim. Radikal Bebas, id.wikipedia.org/wiki/. Tanggal akses: 27 maret 2011.
- Anonim. Rokok, <http://id.wikipedia.org/wiki/Rokok>. tanggal akses: 30 maret 2011.
- Anonim. Bahaya Rokok Bagi Kesehatan, <http://ridwanaz.com/kesehatan>. Tanggal akses: 30 maret 2011
- Anonim. <http://id.answers.yahoo.com/question/A>. Tanggal akses: 20 agustus 2011.
- Anonim. ESR, <http://www.phys.ethz.ch/phys/students/>. Tanggal akses: 24 maret 2011.
- Anonim. EPR, <http://www.owlnet.rice.edu/>. Tanggal akses: 25 maret 2011.
- Arief, S. Radikal bebas. Liver, 1-9, tanggal akses: 26 maret 2011.
- Atkins. 1999. Kimia Fisika. Erlangga. Jakarta.
- Beiser, A. 1987. Konsep Fisika Modern. Erlangga. Jakarta.
- Carrington, A. 1966. Electron Resonance of Free Radicals in the Gas Phase. Departement of Theoretical Chemistry, University of Cambridge.
- Condon, F. Zeeman Effect. <http://en.wikipedia.org/wiki/>. Tanggal akses: 15 agustus 2011.
- Ghosh, M., & Ionita, P. Investigation of Free Radicals in Cigarette Mainstream Smoke. Simulation, 49-55.

- Isna, N. R. Mengenal dan Menangkal Radikal Bebas. <http://nilna.wordpress.com>. Tanggal akses: 26 maret 2011.
- Kaufman, E. N. 2003. Characterization of Materials, 2 volume set. John Willey and Son. USA.
- Matsun. Kandungan Asap Rokok, <http://matsum.blogspot.com>. Tanggal akses 30 maret 2011.
- Miller. 2001. ESR Spectra, <http://www.ensta.fr/esr.html>. Tanggal akses: 4 maret 2011.
- Nonhebel, D.C. 1974. Free-radical chemistry; structure and mechanism. <http://books.google.co.id>. Tanggal akses: 30 juli 2011.
- Oakley, R. G. Radicals, <http://en.wikipedia.org/wiki/Radicals>. Tanggal akses: 30 maret 2011.
- Orion, D. Elektronika Pengenalan dan Petunjuk Penggunaan Osiloskop, <http://forum.djawir.com/elektronika-handphone-128/>. Tanggal akses: 25 mei 2011.
- Putra, S. E. 2005. Rokok Laboratorium Kimia Berbahaya. <http://www.chem-is-try.org/>. Tanggal akses: 30 agustus 2011
- Radford, H. E. 1958. Microwave Zeeman Spectrum of Atomic Oxygen. Gibbs Physics Laboratory, Yale University, New Haven, Connecticut.
- Susana, Dewi dkk. 2003. Penentuan Kadar Nikotin Pada Asap Rokok. MAKARA, Kesehatan, Vol. 7, No. 2.
- Taylor, John R dan Chris D. Zafiratos. 1991. Modern Physics for Scientists and Engineers. Prentice Hall. USA.
- Ultee, C.J. 1960. Some Observation On The Electron Paramagnetic Resonance Spectra Of Gaseous Free Radicals. Research Laboratory, Linde Company New York.

Valavanidis, Athanasios dkk. 2009. 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.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN A

Hasil pengukuran kalibrasi dengan DPPH

Arus	B	Frekuensi	Factor-g	$ g-\bar{g} ^2$
0,362	1,5316386	42,8	1,996	$8,1 \times 10^{-5}$
0,362	1,5316386	42,9	2,001	$1,6 \times 10^{-5}$
0,362	1,5316386	43,0	2,005	0
0,362	1,5316386	43,1	2,010	$2,5 \times 10^{-5}$
0,362	1,5316386	43,2	2,015	10^{-4}
			2,005	$2,22 \times 10^{-4}$

$$\delta g = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^k |g - \bar{g}|^2}{k(k-1)}} = \sqrt{\frac{2,22 \times 10^{-4}}{5(5-1)}} = 0,0033$$

$$Kr = \frac{\delta g}{\bar{g}} \times 100\% = \frac{0,0033}{2,005} \times 100\% = 0,165\%$$

LAMPIRAN B

Berikut diberikan tabel data perolehan pengukuran

Lampiran B.1 Data perolehan hasil pengukuran untuk tiap rokok dengan menggunakan cara langsung

Tabel B.1.1 Hasil pengukuran pada rokok kretek (Langsung-Cara 1)

Arus (A)	B (mT)	Frekuensi (MHz)	Faktor g rata - rata	$\bar{g} \pm \delta\bar{g}$
0,275	1,164	33,1-33,5	2,0389	2,0389±0.0053

Tabel B.1.2 Hasil pengukuran pada rokok putih (Langsung-Cara 1)

Arus (A)	B (mT)	Frekuensi (MHz)	Faktor g rata - rata	$\bar{g} \pm \delta\bar{g}$
0,248	1,0493	32,2-32,6	2,2060	2,2060±0,0039
0,303	1,2820	33,2-33,6	1,8618	1,8618±0,0039
0,597	2,5259	70,6-71,0	2,0025	2,0025±0,0089

Lampiran B.2 Data perolehan pengukuran untuk tiap rokok dengan cara tiup

Tabel B.2.1 Hasil Pengukuran pada rokok kretek (Tiup-Cara 2)

Arus (A)	B (mT)	Frekuensi (MHz)	Faktor g rata - rata	$\bar{g} \pm \delta\bar{g}$
0,280	1,1850	32,6-33,0	1,9775	1,9775±0,0042
0,600	2,5390	65,1-65,5	1,8368	1,8368±0.0025
0,620	2,6234	55,1-55,5	1,5060	1,5060±0,0019

Tabel B.2.2 Hasil Pengukuran pada rokok putih (Tiup-Cara 2)

Arus (A)	B (mT)	Frekuensi (MHz)	Faktor g rata - rata	$\bar{g} \pm \delta\bar{g}$
0,263	1,1127	32,5-32,9	2,0994	2,0994±0.0025
0,474	2,0055	55,9-56,3	1,9985	1,9985±0,0045
0,268	1,1339	35,1-35,5	2,2241	2,2241±0,0044

LAMPIRAN C

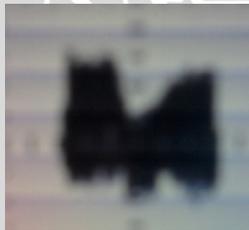
Ketika dilakukan pengukuran terhadap asap rokok kretek diperoleh gambar resonansi untuk masing – masing arus dan frekuensi berikut:

Lampiran C.1 Gambar resonansi pada rokok kretek dengan cara langsung

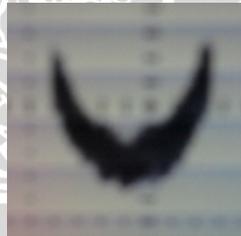


$F= 33,1-33,5$; $I: 0,275$

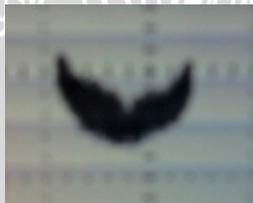
Lampiran C.2 Gambar resonansi pada rokok kretek dengan cara tiup



$F=32,6-33,0$; $I: 0,28$



$F=65,1-65,5$; $I: 0,600$

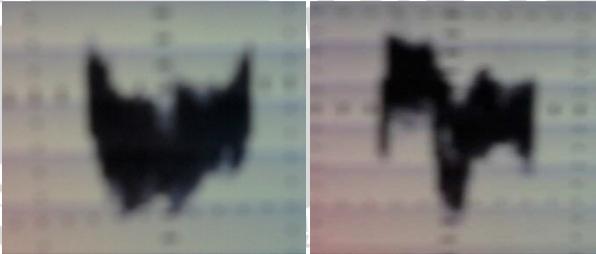


$F= 55,1-55,5$; $I: 0,620$

LAMPIRAN D

Ketika dilakukan pengukuran terhadap asap rokok putih diperoleh gambar resonansi untuk masing – masing arus dan frekuensi berikut:

Lampiran D.1 Gambar resonansi pada rokok putih dengan cara langsung



F=32,2-32,6 ; I: 0,248

F=33,2-33,6 I: 0,303



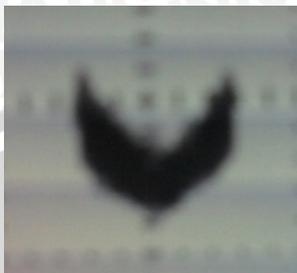
F=70,6-71,0 ; I: 0,597

Lampiran D.2 Gambar resonansi pada rokok putih dengan cara tiup



F=32,5-32,9 ; I: 0,263

F=35,1-35,5 ; I: 0,268



F=55,9-56,3 I: 0,488

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LAMPIRAN E

Berikut diberikan gambar bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian

Lampiran E.1 Bahan – bahan yang diukur dengan ESR



Gambar E.1 DPPH



Gambar E.2 Rokok kretek dan putih

Lampiran E.2 Perbedaan tekstur rokok kretek dan putih



Gambar E.3 Tekstur rokok kretek



Gambar E.4 Tekstur rokok putih

LAMPIRAN F

Alat – alat yang dirangkai dan digunakan untuk pengukuran ini yaitu:



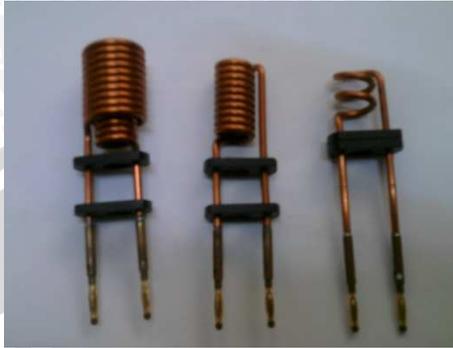
Gambar F.1 Osiloskop digital



Gambar F.2 Alat pengatur ESR



Gambar F.3 Alat dasar ESR dan Kumparan Hemholtz



Gambar F.4 Kumparan induksi



Gambar F.5 Multimeter digital



Gambar F.6 Rangkaian alat ESR

LAMPIRAN G

Daftar tabel nilai faktor g (Miller,2001), (Radford,1958), (Nonhebel,1974)

Jenis	Nilai
Hydroxyl	2,00047
Helium	2,002
Methanol	2,00205
Methyl	2,00255
Free radical	2,00232
Peroxy	2,0155
Alkoxy	2,00197
Alkyl	2,00206
DPPH	2,0036
Karbon dioksida	2,0007
SO ₃ ⁻	2,0037
SO ₄ ⁻	1,9976
O ₂	2,0356
Karbon	2,0028
Cu	1,997-2,000
Cu kompleks	2,154-2,29
FeS	1,860
CuO _x	2,098
CO ₂ ⁻	1,996-2,002
Mn ₂ O ₂	1,8367
O	1,5010

LAMPIRAN H

Tabel kandungan logam dan sebarannya dalam asap tembakau
(Alan,2009)

Name	Transference to Smoke (%)
Aluminum	0.009-0.0014
Antimony	0.003-19
Arsenic	[0.016] a-7.0
Beryllium	0-[4.0]
Bromine	0.02-2.41
Cadmium	7-22
Calcium	ND b-0.001
Cesium	1.27
Chlorine	1.2-2.2
Chromium	0.43-1.74
Cobalt	0.5-4.2
Copper	0.71-1.7
Gold	0.002
Iron	0.014-1.3
Lead	0.16-6.3
Magnesium	0.0025
Manganese	0.004-0.006
Nickel	<0.1-2.4
Potassium	0.2-0.51
Rubidium	0.18-0.78
Scandium	0.018-2.6
Selenium	2.5-5.2
Silver	0.60-1.08
Sodium	0.25-1.06
Zinc	0.4-2.7

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

