

## Potensi Produk Cair (*Oil phase* dan *Water phase*) dari Pirolisis Mikroalga Sebagai Pengawet Makanan

Siti Jamilatun<sup>a,1,\*</sup>, Martomo Setyawan<sup>a,2</sup>, Ilham Mufandi<sup>b,1</sup>, Arief Budiman<sup>c,1</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan, Jl. Prof. Dr. Soepomo, Janturan, Yogyakarta, Telp (0274)379418/381523, Fax (0274) 38152

<sup>b</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen Thailand

<sup>c</sup> Jurusan Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada

<sup>1</sup> sitijamilatun@che.uad.ac.id\*; <sup>2</sup> martomosetyawan@che.uad.ac.id; <sup>3</sup> Ilhammufandi@kkumail.com; <sup>4</sup> abudiman@ugm.ac.id

\* corresponding author

### ARTICLE INFO

#### Article history

Received December 05, 2019

Revised December 16, 2019

Accepted December 18, 2019

#### Keywords

*Oil phase*

*Water phase*

*Phenol*

*Carbonyl*

*Acid*

### ABSTRACT

Microalgae is one of the oldest living organisms namely Thallophyta (plant lacking roots, stems, and leaves) that have chlorophyll as a pigment to mainly photosynthesis process. Microalgae as the water plant had some characteristics such as high carbohydrate, protein, and lipid content in which can be produced energy (liquid, solid, and gas) by using the pyrolysis process. The raw material in this experiment was used *Spirulina platensis* as the type of microalgae. The residue of *Spirulina platensis* was content acid, phenol, dan carbonyl in which this product liquid is potential as a food preservative. The experiment was performed by using the pyrolysis process which is equipped with a cooler (condenser) to condense the combustion vapor. Thermal decomposition was conducted in the pyrolysis reactor with a temperature of 300 °C, 400 °C, 500 °C, and 600 °C under atmospheric condition. The result indicated that the pyrolysis proses had oil phase as the top result and water phase as the bottom result. The result from GC/MS analysis reported that the pyrolysis process on temperature of 300 °C can produce the oil phase with the phenol content of 6.7 wt.%, acid of 33.03 wt.%, carbonyl of 4.95 wt.%, and Poly Aromatic Hydrocarbon (PAH) of 6.23 wt.%, respectively. Otherwise, the pyrolysis process can produce the water phase (liquid smoke) on temperature 400 °C, 500 °C, dan 600 °C with the phenol content of 0.22 wt.%, acid content of 0.69-9.12 wt.%, carbonyl content of 10.46-13.02 wt.% and PAH of 26.93-45.18 wt.%. The superiority of preservatives from residual *Spirulina platensis* has a high nitrogenate content from protein decomposition (10.13-31.22 wt.%). High protein content in food preservatives can be used as an additive compound to increase protein intake.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](#) license.



## 1. Pendahuluan

Dari Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia (HEESI) 2016 [1], didapatkan data penduduk dunia pada tahun 2017 yakni 7550 Milyar, dan akan meningkat dengan tajam pada tahun 2030 yakni 8551 Milyar. Peningkatan jumlah penduduk ini harus disikapi dengan penyediaan cadangan pangan yang cukup aman [2]. Banyak produk makanan dengan masa simpan yang cukup pendek, dalam hitungan jam atau hari. Untuk itulah perlu dicari jalan keluar bagaimana produk makanan ini dapat dijaga keawetan dengan tidak mengurangi kandungan gizi dan rasanya.

Dalam rangka untuk memenuhi kebutuhan pangan penduduk dunia, maka industri makanan dan produk turunannya harus memenuhi persyaratan keawetan, keamanan, dan kualitas pangan serta pengurangan limbah produksi pangan [3]. Salah satu proses pengawetan yang dilarang namun masih

banyak dilakukan yaitu pengawetan makanan menggunakan zat-zat aditif [3-5]. Beberapa zat aditif yang banyak digunakan untuk pengawet makanan yang dilarang yaitu formalin dan boraks. Formalin adalah bahan kimia yang digunakan sebagai desinfektan, pembasmi serangga serta digunakan dalam industri tekstil dan kayu lapis. Bahan kimia tersebut sangat berbahaya apabila digunakan sebagai pengawet makanan. Akibat dari penggunaan formalin dapat menyebabkan kanker hingga kematian. Produsen makanan banyak menggunakan zat aditif ini dengan tujuan memperpanjang masa simpan makanan dan meningkatkan keuntungan penjualan [6, 7].

Pengawet yang aman digunakan dapat berasal dari bahan alami dan sintesis. Pengawet alami yang bisa digunakan antara lain gula tebu, gula merah, garam, kunyit, kulit kayu manis, dan cengkeh. Sedangkan pengawet sintesis antara lain asam asetat, benzoat, sulfat, propit galat, propionat, garam nitrit, dan sorbat [4].

Menurut Lingbeck, 2014 [4], pengawet alami seperti asap cair (*liquid smoke*) hasil dari pirolisis lignoselulosa (tempurung kelapa, kayu, limbah pertanian, dll) mengandung hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Asap cair ini mengandung senyawa-senyawa anti mikroba, anti bakteri, dan antioksidan. Senyawa-senyawa tersebut yakni asam dan turunannya, alkohol, fenol, aldehyd, karbonil, keton, dan pirimidin. Untuk itu dimungkinkan bahan baku pirolisis dapat berasal dari sumber biomassa yang lain, yakni mikroalga [8].

Dengan kekayaan alam hayati yang sangat melimpah, mikroalga adalah salah satu tumbuhan tumbuh dan dikembangkan dengan media air. Beberapa keuntungan mikroalga adalah: (i) tingkat pertumbuhannya sangat tinggi (hingga 20 g ganggang kering per m<sup>2</sup> per hari), (ii) hasil per area juga tinggi, yakni 15 kali lebih tinggi dari kelapa sawit, (iii) efisiensi yang tinggi dalam hal menangkap CO<sub>2</sub> dan konversi energi surya (8%), (iv) tidak ada persaingan dengan pertanian pangan dan tumbuh di perairan terbuka (air laut dan kolam) dan dalam *photobioreactor* di lahan non-pertanian [9]. Untuk itu mikroalga sangat potensial sebagai sumber bahan baku yang sangat melimpah dan dapat diolah dengan cara pirolisis. Pirolisis adalah dekomposisi termal mikroalga tanpa adanya oksigen. Berikut Tabel 1 daftar berbagai macam jenis mikroalga dengan kandungan protein, karbohidrat, dan lipid.

**Tabel 1.** Jenis mikroalga dan kandungan protein, karbohidrat, dan lipid [9]

Mikroalga	Protein (%)	Karbohidrat (%)	Lipid (%)
<i>Senedesmus dimorphus</i>	8-18	21-52	16-40
<i>Scenedesmus obliquus</i>	50-56	10-17	12-14
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58	12-17	14-22
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	57	26	2
<i>Spirogyra sp.</i>	6-20	33-64	11-21
<i>Dunaliella salina</i>	57	32	6
<i>Tetraselmis muculata</i>	52	15	3
<i>Spirulina platensis</i>	46-63	8-14	4-9

*Spirulina platensis* adalah jenis mikroalga dengan kandungan lipid yang sangat rendah (4-9 wt.%), kandungan protein (46-63 wt.%), dan karbohidrat (8-14 wt.%) yang cukup tinggi. Setelah diekstraksi, maka akan didapatkan *Spirulina platensis residue* (SPR) yang hampir tidak didapatkan lipidnya. Residu inilah yang dipirolisis, hanya terjadi dekomposisi termal karbohidrat dan protein. Dengan pirolisis akan dihasilkan produk cair (*oil phase* dan *water phase*), gas, dan char. Produk cair dapat digunakan sebagai pengawet makanan karena kandungan asam, phenol, dan karbonil yang cukup tinggi. Pada pirolisis tempurung kelapa, hanya *water phase* (*liquid smoke*) saja yang digunakan sebagai pengawet pangan [4,11-12].

Keunggulan produk cair pirolisis mikroalga adalah *oil phase* dan *water phase* masing-masing berpotensi sebagai pengawet makanan dan senyawa nitrogenat yang cukup tinggi dapat digunakan sebagai asupan protein pada makanan yang diawetkan. Sedangkan produk gas dapat digunakan sebagai energi, serta produk char dapat dipakai sebagai adsorben atau soil softener [8].

Dari beberapa uraian di atas, maka sangat menarik bahwa pemanfaatan residu ekstraksi mikroalga *spirulina platensis* dengan cara pirolisis dapat dihasilkan produk cair (*oil phase* dan *water phase*) sebagai pengawet makanan yang aman dan sangat potensial untuk dikembangkan lebih lanjut.

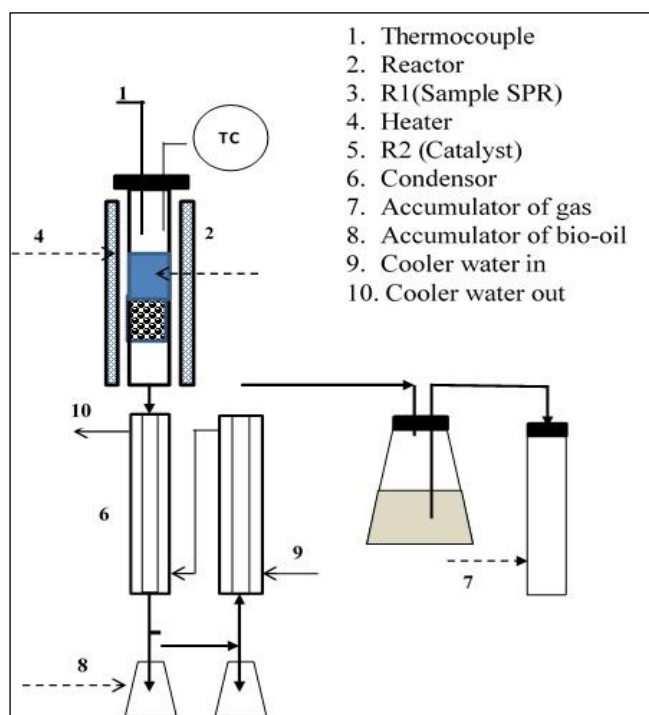
## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah Mikroalga jenis *Spirulina Platensis* yang sudah diambil lipidnya dengan cara ekstraksi dengan metanol dan heksana yang disebut dengan *Spirulina Platensis Residue* (SPR). Bahan baku alga diambil dari Alga Park Universitas Gadjah Mada. SPR sebelum digunakan terlebih dahulu dikeringkan pada suhu 60 °C untuk menghilangkan kadar airnya. Karakteristik bahan baku SPR dapat dilihat pada Tabel 2.

### 2.2. Prosedur Penelitian

Pada Gambar 1, menampilkan rangkaian alat untuk penelitian ini terdiri dari reaktor, kondenser, heater, akumulator gas, dan *thermocouple*. Adapun prosedur penelitian ditampilkan pada Gambar 2. Lima puluh (50) g SPR dimasukkan dalam reaktor, ditutup rapat dan dipanaskan. Sampel yang diuji dipanaskan dengan tingkat pemanasan konstan dari suhu kamar sampai ke suhu yang diinginkan (300, 400, 500, 600 °C), kemudian dijaga konstan selama 1 jam pada suhu yang diinginkan. Produk cair keluar kondensor dikumpulkan dalam akumulator, dan produk gas dikumpulkan dalam kantong gas. Produk cair yang berupa campuran dari fase minyak (fase atas) dan fase air (fase bawah), dipisahkan dengan dekantasi dan selanjutnya dianalisis menggunakan GC-MS untuk mengetahui kandungannya.

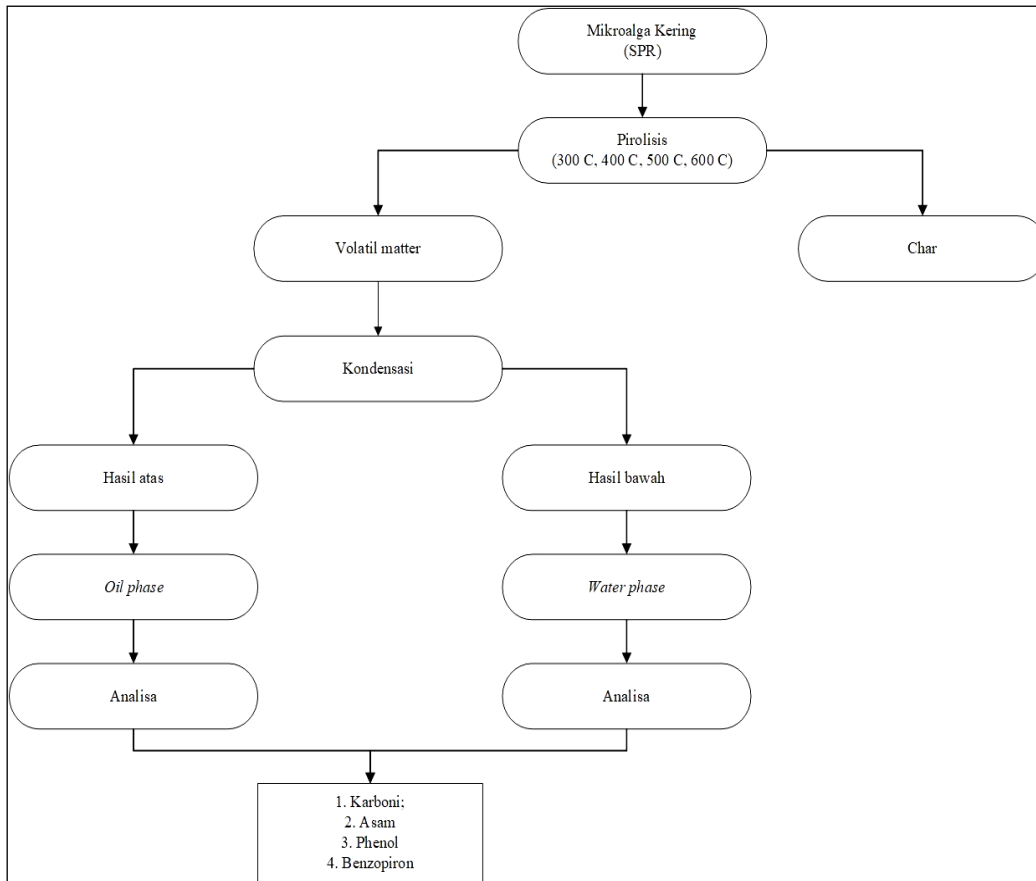


Gambar 1. Rangkaian alat pirolisis [10]

## 3. Hasil dan pembahasan

### 3.1. Komposisi *spirulina platensis residue* (SPR)

Pada Tabel 2 disajikan hasil analisis *proximate*, *ultimate* dari *Spirulina platensis residue* (SPR). Dari tabel ini dapat dilihat bahwa SPR mempunyai kandungan lipid yang rendah (0,09 wt.%), tinggi kandungan protein (49,60 wt.%) dan karbohidrat (25,59 wt.%). Adapun kandungan selulosa cukup tinggi (26,85 wt.%), hemiselulosa cukup tinggi (32,77 wt.%), sedangkan lignin sangat rendah (8,82 wt.%).



Gambar 2. Prosedur penelitian

Tabel 2. Karakteristik *Spirulina platensis* residue (SPR) [7]

Komponen	(SPR)
Moisture (wt.%)	9,99
Ash (wt.%)	8,93
Volatiles (wt.%)	68,31
Fixed carbon (wt.%)	12,77
Selulosa	26,85
Hemi selulosa	32,77
Lignin	8,82
<b>Proximate analysis (wt.%)</b>	
Lipid	0,09
Carbohydrate	25,59
Protein	49,60
<b>Ultimate analysis (wt.%)</b>	
Carbon	41,36
Hydrogen	6,60
Nitrogen	7,17
Oxygen	35,33

### 3.2. Hubungan suhu pirolisis dengan kandungan senyawa pada minyak pirolisis (*oil phase*)

Data komposisi produk cair (*oil phase*) dari pirolisis SPR pada suhu 300 dan 400 °C dengan 50 komponen senyawa didapatkan dari GC-MS yang disajikan pada Tabel 3 dan 4. Tabel-tabel ini berisi data *peak*, *retention time*, persentase area, nama senyawa, formula, dan komposisi kandungan senyawa pada *oil phase*.

**Tabel 3.** Komposisi senyawa penyusun *oil phase* hasil GC-MS pada pirolisis 300 °C

Peak	R. Time	% Area	Senyawa	Formula	Asam	Al-kohol	Karbo-nil	Phenol	Al-dehid	Nitro-genat	Ali-fatik	PAH
1	3,038	2,64	2-Furanmethanol (CAS) Furfuryl alcohol	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>		2,64						
2	3,485	1,94	2-Furanmethanol (CAS) Furfuryl alcohol	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>		1,94						
3	3,633	0,47	2-Furanmethanol (CAS) Furfuryl alcohol	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>		0,47						
4	3,874	2,07	Pyrazine, 2,6-dimethyl- (CAS) 2,6-	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub>						2,07		
5	4,042	0,82	Dimethylpyrazine 3-Heptanol (CAS) 3-	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> O		0,82						
6	4,150	0,13	Hydroxyheptane Propanoic acid, 2-	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub>	0,13							
7	4,192	0,27	hydroxy-2-methyl-, ethyl ester (CAS) Ethyl 2-									
8	4,433	0,40	methylactate 2-Butenoic acid, (E)- (CAS) (E)-Crotonic acid	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0,27							
9	4,650	0,53	Pyridine, 2,5-dimethyl- (CAS) 2,5-	C <sub>7</sub> H <sub>9</sub> N						0,4		
10	5,008	0,24	Dimethylpyridine 2(3H)-Furanone, dihydro- (CAS) Butyrolactone	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>			0,53					
11	5,492	0,12	Acetamide (CAS) Ethanamide	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NO						0,24		
12	5,692	0,69	2-Butenoic acid (CAS) Crotonic acid	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0,12							
13	6,056	3,37	2-Butenoic acid (CAS) Crotonic acid	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0,69							
14	6,247	4,03	2-Butenoic acid, (E)- (CAS) (E)-Crotonic acid	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	3,37							
15	6,486	2,20	2-Butenoic acid (CAS) Crotonic acid	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	4,03							
16	7,250	0,34	2-Butenoic acid, (E)- (CAS) (E)-Crotonic acid	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	2,2							
17	7,351	0,42	Propanediamide (CAS) Malonamide	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>						0,34		
18	8,056	2,51	Pentanoic acid, 4-methyl- (CAS) 4-Methylvaleric acid	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	0,42							
19	8,477	1,18	Hexanamide (CAS) Caproamide	C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> NO						2,51		
20	8,835	1,73	Cyclohexane, 1,4- bis(ethoxymethyl)- (CAS) 1,4-	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>		1,18						
21	9,142	0,24	DIETHOXYMETHYL CYCLOHEXANE									
22	9,142	0,24	2,6-Pyridinediamine (CAS) 2,6-	C <sub>5</sub> H <sub>7</sub> N <sub>3</sub>						1,73		
23	9,597	4,81	Diaminopyridine 2-Pyridinamine, 6-	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub>						0,24		
24	10,147	2,69	methyl- (CAS) 2-Amino- 6-picoline									
25	10,300	3,15	2-Pyrrolidinone (CAS) Pyrrolidone	C <sub>4</sub> H <sub>7</sub> NO						4,81		
26	10,887	2,22	Pentanamide, 4-methyl- (CAS) 4-	C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> NO						2,69		
27	11,659	10,85	Methylvaleramide 2-Furanmethanol, tetrahydro- (CAS) Tetrahydrofurfuryl alcohol	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>		3,15						
28	12,317	3,83	1,1-	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub> N <sub>2</sub>						1,73		
29	12,651	1,95	Cyclopropanedicarbonitril e, 2-methyl-2-pentyl- (CAS) 2-PENTYL-2-									
30	13,126	6,70	METHYL-1,1-									
31	13,690	2,14	CYCLOPROPANEDICA RBONITRILE									
32	13,690	2,14	2-Propenoic acid, 2- methyl-, ethyl ester (CAS) Ethyl methacrylate	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>						0,24		
33	12,651	1,95	Indolizine (CAS) Indolizin	C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N								3,83
34	12,651	1,95	Benzeneacetonitrile (CAS) Benzyl cyanide	C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N						2,69		
35	13,126	6,70	Phenol, 2-methoxy-3-(2- propenyl)- (CAS) Phenol, 3-allyl-2-methoxy- (CAS) 3-Allylguaiacol	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>				6,7				
36	13,690	2,14	Spiro[4.4]nonan-2-one (CAS) SPIRO(4,4) NONANE-2-ONE	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O								2,14

31	14,128	3,84	2,4-Imidazolidinedione, 1-(hydroxymethyl)-5,5-dimethyl-	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>									3,84
32	14,990	6,51	1,3-Benzenediol, 5-methyl- (CAS) Orcinol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>		6,51							
33	16,054	4,12	Ethyl 2,4-dihydroxy-6-methylbenzoate	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	4,21								
34	16,555	2,61	2,4,4-TRIMETHYL-3-(3-METHYL-BUTYL)-CYCLOHEX-2-ENONE	C <sub>14</sub> H <sub>24</sub> O			2,61						
35	17,134	1,17	delta-tetradecalactone	C <sub>14</sub> H <sub>26</sub> O <sub>2</sub>			1,17						
36	17,413	3,26	Nonadecane (CAS) n-Nonadecane	C <sub>19</sub> H <sub>40</sub>									3,26
37	17,667	0,45	2',3',4'	C <sub>11</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub>					0,45				
38	17,917	0,72	Trimethoxyacetophenone 2,5-dioxo-3-isopropyl-6-methylpiperazine	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>									0,72
39	18,389	0,64	(-)-CIS-CARANON-(3)	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O			0,64						
40	18,614	0,60	URIC ACID (THERMOLYSIS PRODUCT)	C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> N <sub>4</sub> O <sub>3</sub>									0,6
41	18,991	2,24	NEOPHYTADIENE	C <sub>20</sub> H <sub>38</sub>									2,24
42	19,467	0,73	NEOPHYTADIENE	C <sub>20</sub> H <sub>38</sub>									0,73
43	19,698	0,70	Cyclohexanol, 5-methyl-2-(1-methylethyl)-, (1.alpha.,2.beta.,5.alpha.)-(,+-)-	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O		0,7							
44	19,942	0,51	Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl palmitate	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	0,51								
45	20,634	0,34	Hexadecanoic acid (CAS) Palmitic acid	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	0,34								
46	20,842	0,47	1,4-diaza-2,5-dioxo-3-isobutyl bicyclo[4.3.0]nonane	C <sub>11</sub> H <sub>18</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>									0,47
47	21,623	0,14	2-Hexadecen-1-ol, 3,7,11,15-tetramethyl-, [R-[R*,R*-(E)]]- (CAS) Phytol	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O		0,14							
48	21,892	0,12	2-Hexadecen-1-ol, 3,7,11,15-tetramethyl-, [R-[R*,R*-(E)]]- (CAS) Phytol	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O		0,12							
49	22,711	0,19	Hexadecanamide (CAS) Amide 16	C <sub>16</sub> H <sub>33</sub> NO									0,19
50	24,984	5,98	Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl) ester (CAS) Bis(2-ethylhexyl) adipate	C <sub>22</sub> H <sub>42</sub> O <sub>4</sub>	5,93								
<b>Jumlah</b>						33,03	17,67	4,95	6,70	0,45	24,42	6,23	6,57

Dari Tabel 3 diperoleh data *oil phase* mengandung asam (33,03 wt.%), karbonil (4,95 wt.%) yang cukup memenuhi syarat sebagai pengawet makanan, akan tetapi kandungan phenol cukup kecil (6,70 wt.%). Kandungan senyawa poliaromatik hidrokarbon (PAH) sebesar 6,57 wt.%. PAH adalah senyawa yang bersifat karsinogenik dan tidak dikehendaki dalam pengawet makanan. Kandungan senyawa nitrogenat yang cukup tinggi (24,42 wt.%) berpotensi untuk tambahan asupan protein pada makanan yang diawetkan.

**Tabel 4.** Komposisi senyawa penyusun *oil phase* hasil GC-MS dari pirolisis 400 °C

Peak	R. Time	% Area	Senyawa	Formula	Asam	Al-kohol	Karbo-Nil	Phenol	Al-dehid	Nitrogenat	Ali-fatik	PAH
1	3,075	5,70	10.45 8-Nonynoic acid (CAS)	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	5,7							
2	3,298	2,67	7.05 Styrene	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>								2,67
3	3,656	8,25	18.32 2-Furanmethanol (CAS) Furfuryl alcohol	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>		8,25						
4	3,717	4,76	10.66 2-Furanmethanol (CAS) Furfuryl alcohol	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>		4,76						
5	4,025	147	9.05 1H-Pyrrole, 2,3-dimethyl- (CAS) 2,3-DIMETHYLPYRROLE	C <sub>6</sub> H <sub>9</sub> N						1,47		
6	4,790	066	5.98 2(3H)-Furanone, dihydro- (CAS) Butyrolactone	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>			0,66					
7	6,158	073	6.98 Ethanone, 1-(1H-pyrrol-2-yl)- (CAS) 2-Acetylpyrrole	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> NO						0,73		
8	6,442	274	17.22 Ethanone, 1-(1H-pyrrol-2-yl)- (CAS) 2-Acetylpyrrole	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> NO						2,74		
9	6,724	145	9.27 Ethanone, 1-(1H-pyrrol-2-yl)- (CAS) 2-Acetylpyrrole	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> NO						1,45		
10	8,508	072	10.92 Phenol, 4-methyl-	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O				0,72				

11	8,742	054	(CAS) p-Cresol 8.24 2,5-Pyrrolidinedione, 1-methyl- (CAS) N- Methylsuccinimide	$C_5H_7NO_2$		0,54
12	8,964	184	12.45 2-AMINO-5,6- DIHYDRO-4,4,6- TRIMETHYL-4H-1,3- OXAZINE	$C_7H_{14}N_2O$		1,84
13	9,183	029	6.71 TANOXIME	$C_9H_{17}N_2O_2$		0,29
14	11,385	065	8.70 Benzenepropanenitrile (CAS) 3-	$C_9H_9N$		0,65
15	12,154	102	Phenylpropionitrile 14.81 3,6,12- TRIMETHYL- 1,4,7,10,13,16- HEXAAZA- CYCLOOCTADECANE- 2,5,8,11,14,17- HEXAONE	$C_{15}H_{24}N_6O_6$		1,02
16	12,473	052	4.61 1H-Indole (CAS) Indole	$C_8H_7N$		0,52
17	12,667	153	6.05 1H-Indole (CAS) Indole	$C_8H_7N$		1,53
18	12,908	1,262	22.26 Indolizine (CAS) Indolizin	$C_8H_7N$		12,62
19	13,835	089	11.28 Pyrrolidine, 1-(1- oxopropyl)- (CAS) N- Propionylpyrrolidine	$C_7H_{13}NO$		0,89
20	14,153	083	6.92 2- Phenylcyclohexanone	$C_{12}H_{14}O$	0,83	
21	14,865	043	2.14 Pentadecane (CAS) n-Pentadecane	$C_{15}H_{32}$		0,43
22	16,163	026	1.98 Octadecane (CAS) n-Octadecane	$C_{18}H_{38}$		0,26
23	16,500	113	16.45 4- Hydroxymenthofuran	$C_{10}H_{14}O_2$	1,13	
24	16,757	028	2.76 PENTADECANE, 2,6,10-TRIMETHYL-	$C_{18}H_{38}$		0,28
25	17,084	081	6.79 9- BORABICYCLO[3.3.1]N	$C_{14}H_{27}BO$	0,81	
26	17,142	049	ONAN, 9-(2- HEXYLOXY)- 4.33 CYCLOHEXANE, 2,4-DIISOPROPYL-1,1- DIMETHYL-	$C_{14}H_{28}$		0,49
27	17,464	955	4.35 Hexadecane, 2,6,10,14-tetramethyl- (CAS) Phytane	$C_{20}H_{42}$		9,55
28	17,753	111	5.10 1-Hexadecanol (CAS) Cetal	$C_{16}H_{34}O$	1,11	
29	18,934	096	2.55 2-Hexadecene, 3,7,11,15-tetramethyl-, [R-[R*,R*-(E)]]-	$C_{20}H_{40}$		0,96
30	19,032	377	2.90 NEOPHYTADIENE	$C_{20}H_{38}$		3,77
31	19,085	183	2.41 2-Hexadecene, 3,7,11,15-tetramethyl-, [R-[R*,R*-(E)]]-	$C_{20}H_{40}$		1,87
32	19,270	029	2.71 NEOPHYTADIENE	$C_{20}H_{38}$		0,29
33	19,493	289	3.01 NEOPHYTADIENE	$C_{20}H_{38}$		2,89
34	19,617	051	5.85 Propanamide, 3- (decyloxy)-N-2-propenyl- (CAS) N-ALLYL-4- OXATETRADECANAM IDE	$C_{16}H_{31}NO_2$		0,51
35	19,720	058	2.21 (E)-6,6- Dimethylcyclooct-4-en-1- one	$C_{10}H_{16}O$	0,58	
36	19,857	414	3.82 Hexadecanenitrile (CAS) Palmitonitrile	$C_{16}H_{31}N$		4,14
37	19,996	148	2.50 Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl palmitate	$C_{17}H_{34}O_2$	1,48	
38	20,308	063	8.73 1,4-diaza-2,5- dioxo-3-isobutyl bicyclo[4.3.0]nonane	$C_{11}H_{18}N_2O_2$		0,62
39	20,972	642	9.93 Hexadecanoic acid (CAS) Palmitic acid	$C_{16}H_{32}O_2$	6,42	
40	21,083	297	7.73 2,5- Piperazinedione, 3,6- bis(2-methylpropyl)-	$C_{12}H_{22}N_2O_2$		2,97
41	21,242	243	7.58 1,4-diaza-2,5- dioxo-3-isobutyl bicyclo[4.3.0]nonane	$C_{11}H_{18}N_2O_2$		2,43
42	21,494	040	3.07 Octadecanoic acid, 2-propenyl ester (CAS)	$C_{21}H_{40}O_2$	0,4	

43	21,592	048	ALLYL OCTADECANOATE 6,96 6,9,12- Octadecatrienoic acid, methyl ester (CAS) methyl 6,9,12- octadecatrienoate	C <sub>19</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	0,48								
44	21,728	043	3,80 8,11- Octadecadienoic acid, methyl ester (CAS) METHYL 8,11- OCTADECADIENOATE	C <sub>19</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	0,43								
45	21,937	027	2,92 2-Hexadecen-1-ol, 3,7,11,15-tetramethyl-, [R-[R*,R*(E)]]- (CAS) Phytol	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O		0,27							
46	22,517	067	19,89 9,12- Octadecadien-1-ol (CAS) OCTADECA-9,12-DIEN- 1-OL	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O		0,67							
47	22,880	349	5,98 Hexadecanamide (CAS) Amide 16	C <sub>16</sub> H <sub>33</sub> NO				3,49					
48	24,819	076	7,69 9-Octadecenamide, (Z)- (CAS) OLEOAMIDE	C <sub>18</sub> H <sub>35</sub> NO				0,76					
49	25,084	030	5,30 Octadecanamide (CAS) Stearamide	C <sub>18</sub> H <sub>37</sub> NO				0,3					
50	27,374	035	4,22 1,2- Benzenedicarboxylic acid, bis(2-ethylhexyl) ester (CAS) Bis(2-ethylhexyl) phthalate	C <sub>24</sub> H <sub>38</sub> O <sub>4</sub>	0,35								
<b>Jumlah</b>						15,26	16,19	2,88	0,72	0	26,85	20,79	14,67

Dari Tabel 4 diperoleh kandungan asam (15,26%), karbonil (2,88%) yang cukup memenuhi syarat sebagai pengawet makanan, akan tetapi kandungan phenol sangat kecil (0,72%). Kandungan senyawa poliaromatik hidrokarbon (PAH) sebesar 14,67% bersifat karsinogenik dan tidak dikehendaki dalam pengawet makanan. Kandungan senyawa nitrogenat yang cukup tinggi (26,85%) dapat ditambahkan pada makanan yang diawetkan.

Secara garis besar pengelompokan senyawa pada variasi suhu 500 dan 600 °C dapat dilakukan dengan cara yang sama pada suhu 300 dan 400 °C, disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Komponen penyusun minyak pirolitik pirolisis SPR pada berbagai macam suhu

Suhu, °C	Asam, %	Karbonil, %	Phenol, %	PAH, %	Nitrogenat, %
300	33,03	4,95	6,7	6,57	24,42
400	15,26	2,88	0,72	14,67	26,85
500	5,99	0,39	0	13,06	28,61
600	14,40	1,04	0	16,60	10,13

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa komponen penyusun pengawet makanan yang potensial didapatkan pada pirolisis 300 °C, dimana kandungan asam (33,03%), karbonil (4,95%), phenol (6,7%) dan PAH paling rendah (6,57%) yang cukup memenuhi syarat sebagai pengawet makanan. Sedangkan pada suhu pirolisis 400, 500, dan 600 °C tidak didapatkan phenol, dan kandungan karbonil sangat rendah. Namun demikian, hampir semua suhu pirolisis mengandung senyawa nitrogenat yang cukup tinggi, yakni pada kisaran 10,13–28,61%. Senyawa nitrogenat hasil pirolisis protein ini berpeluang sebagai asupan penambah protein pada makanan yang diawetkan.

Dari Tabel 5 dapat dicermati kandungan PAH, semakin tinggi suhu pirolisis maka PAH akan mengalami peningkatan dari 6,57% (300 °C) menjadi 16,60% (600 °C). Kandungan PAH dapat dihilangkan dengan penjerapan menggunakan arang aktif [5,7]. Jamilatun dkk. (2015) telah berhasil menurunkan PAH hingga 0% dengan arang aktif dari tempurung kelapa [5].

### 3.3. Hubungan suhu pirolisis dengan kandungan senyawa penyusun *water phase (liquid smoke)*

Hubungan suhu pirolisis dengan komponen penyusun asap cair (liquid smoke) dari hasil GC-MS ditampilkan pada Tabel 6. Dari tabel dapat dicermati komponen penyusun asap cair pirolisis SPR pada suhu 400-600 °C dengan jumlah asam relatif rendah (0,69–9,12%), karbonil (keton dan aldehyd) cukup tinggi (10,46–13,02 wt.%), phenol 0,22 wt.% dan PAH cukup tinggi (26,93–45,18 wt.%). Dengan pertimbangan jumlah komponen asam, karbonil, phenol dan PAH, maka fungsi asap cair sebagai anti bakteri tidak maksimal.



**Tabel 6.** Komponen penyusun asap cair hasil pirolisis SPR pada suhu 400, 500, dan 600 °C

Komponen	400 °C	500 °C	600 °C
Asam	9,12	0,69	3,79
Alkohol	23,3	28,28	1,58
Keton	10,46	13,02	12,86
Aldehid	0	4,67	0
Phenol	0	0,22	0
Nitrogenat	8,03	14,31	7,47
Alifatik	1,64	2,82	2,18
Aromatik	1,21	0	0
O <sub>2</sub>	0	9,03	26,2
PAH	45,18	26,93	28,79

Menurut Girard, 1992 [12], cita rasa dipengaruhi oleh fenol, asam, dan karbonil. Warna dipengaruhi oleh karbonil, sedangkan daya simpan (anti bakteri) ditentukan oleh fenol, asam, dan formaldehid, adapun ketahanan tekstur oleh formaldehid. Kombinasi antara asam, karbonil dan phenol akan lebih maksimal sebagai pengawet, *flavour*, warna, dan tekstur. Kandungan poliaromatik hidrokarbon (PAH) yang ditemukan pada asap cair dapat dihilangkan dengan penyerapan menggunakan arang aktif, hal ini dapat diartikan bahwa produk cair pirolisis mikroalga SPR aman jika digunakan sebagai pengawet makanan [5].

#### 4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa, *Spirulina platensis* residue berpotensi sebagai bahan baku pembuatan pengawet makanan dengan proses pirolisis. Produk *oil phase* pada suhu 300 °C dihasilkan minyak pirolitik yang paling baik dengan kandungan asam (33,03%), karbonil (4,95%), phenol (6,7%) dan dengan kandungan PAH paling rendah, yakni 6,57%. Kandungan senyawa nitrogenat pada minyak pirolitik yang cukup tinggi (10,13–31,22 %) pada proses pirolisis berpotensi sebagai bahan aditif protein pada makanan yang diawetkan. Asap cair yang dihasilkan pada pirolisis SPR suhu 400 °C, 500 °C, dan 600 °C mempunyai kandungan asam pada kisaran 0,69–9,12%, karbonil 10,46–13,02%, phenol 0,22%, dan nitrogenat 7,47–14,31%. Jika dibandingkan antara minyak pirolitik dan asap cair, maka minyak pirolitik pada suhu pirolisis 300 °C lebih berpotensi sebagai pengawet makanan.

#### Ucapan Terimakasih

Peneliti mengucapkan terimakasih atas bantuan pendanaan penelitian melalui skim Penelitian Hibah Bersaing dana internal melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta.

#### Daftar Pustaka

- [1] Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia (HEESI), 2016.
- [2] Jamilatun, S., Sumiyati, Y., Handayani, R.N., "Pengambilan Glukosa dari Tepung Biji Nangka dengan Cara Hidrolisis Enzimatis Kecambah Jagung," Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, Yogyakarta, 2004.
- [3] Maga, J.A., "Smoke in Food Processing," CRC Press, Boca Raton, Florida, 1988.
- [4] Lingbeck, J.M., Cordero, P., O'Bryan, C.A., and Johnson, M.G., Ricke, S.C. and Crandall, P.G., "Functionality of *liquid smoke* as an all-natural antimicrobial in food preservation," Meat Sci, 97, 197–206, 2014.
- [5] Jamilatun, S. dan Salamah, S., "Peningkatan Kualitas Asap Cair dengan Menggunakan Arang Aktif," SNTT FGDT 2015, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2015.
- [6] Jamilatun, S., Aslihati, L. dan Suminar, E.W., "Pengaruh perendaman ikan nila dengan asap cair (*liquid smoke*) terhadap daya simpan," Prosiding Semnastek 2016, 2016.
- [7] Jamilatun, S. and Salamah, S., "Pemanfaatan Asap Cair Food Grade yang Dimurnikan dengan Arang Aktif sebagai Pengawet Ikan Nila," Eksergi, 14 (2), 29-34, 2017.

- [8] Jamilatun, S., Budhijanto, Rochmadi, Yuliestyan, A. and Budiman, A., "Valuable Chemicals Derived from Pyrolysis Liquid Products of *Spirulina platensis* Residue," *Indones. J. Chem.*, 19 (3), 703 – 711, 2019.
- [9] Dragone, G., Fernandes, B., Vicente, A., and Teixeira, J.A., "Third generation biofuels from microalgae," In: Vilas AM, editor. *Current research, technology and education topics in Appl. Microbiol. Biot.*, Badajoz: Formatex Research Center; pp.1355-66, 2010.
- [10] Jamilatun, S., Budhijanto, Rochmadi and Budiman, A., "Non-catalytic slow pyrolysis of *Spirulina platensis* residue for production of liquid biofuel," *Int. J. Renew. Energy Res.*, 7(4), 1901–1908, 2017.
- [11] Darmadji, Purnama, "Optimasi Pemurnian asap Cair dengan Metoda Redestilasi Jurnal Teknologi dan Industri Pangan," Vol.XIII, No.3, 2002.
- [12] Girrard, J.P., "Technology of Meat and Meat Products," Ellis horwood, New York, 1992.
- [13] J. M. Lingbeck, P. Cordero, C. A. O'Bryan, M. G. Johnson, S. C. Ricke, and P. G. Crandall, "Functionality of *liquid smoke* as an all-natural antimicrobial in food preservation," *Meat Sci.*, vol. 97, no. 2, pp. 197–206, 2014.
- [14] L. Singh, J. G. Varshney, and T. Agarwal, "Polycyclic aromatic hydrocarbons formation and occurrence in processed food," *Food Chem.*, vol. 199, pp. 768–781, 2016.