

## **Pengaruh Metode Pengeringan terhadap Senyawa Volatil pada Pembentukan Flavor Biji Kopi Robusta**

### *Effect of Drying Method on Volatile Compounds in the Formation of Robusta Coffee Beans Flavor*

**Jonathan Namora**<sup>1\*)</sup>, M. Sihombing<sup>1</sup>, M. Rahardjo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan

<sup>\*)</sup>Penulis untuk korespondensi 492016006@student.uksw.edu

**Sitasi:** Namora J. Sihombing M. Rahardjo M. 2020. effect of drying method on volatile compounds in the formation of robusta coffee beans flavor. *In: Herlinda S et al. (Eds.), Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-8 Tahun 2020, Palembang 20 Oktober 2020.* pp. 1028-1042. Palembang: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI).

#### **ABSTRACT**

The coffee beans drying process still depended on conventional methods, while also influenced by an uncertain climate. This paper is aimed to review the coffee beans drying methods through conventional, greenhouse, cabinet, heat pump, and microwave drying methods upon the volatile compounds content, then get the best drying method. By GC-MS analysis with 0-40 minutes of retention time, founded 6 dominant compounds that are important within flavor formation, such methanethiol; 2,3-butadione; 2,3-pentadione; hexanal; 2-ethylpyrazine; and 2-ethyl-6-methylpyrazine. Seen from effectiveness of drying time, microwave become the best instrument to choose. However inefficient on breaking the precursor into volatile compounds, while heat pump dryer is the most effective method to reduce the water content. Meanwhile, it has ineffectiveness as microwave does. Drying cabinet is the most recommended method, due its temperature stability, and able to reach the effective temperature of Maillard reaction ( $>120^{\circ}\text{C}$ ), the most important reaction on flavor's characteristic formation.

---

Kata kunci: robusta coffee, drying. volatile compounds

#### **ABSTRAK**

Proses pengeringan biji kopi masih bergantung pada metode konvensional yang dalam praktiknya dipengaruhi oleh iklim yang tidak menentu. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk meninjau metode pengeringan secara konvensional, rumah kaca, drying cabinet, heat pump drying, dan microwave terhadap kandungan senyawa volatil dalam kopi, agar didapatkan metode pengeringan terbaik. Berdasarkan analisis menggunakan GC-MS dengan waktu retensi 0-40 menit, ditemukan 6 senyawa dominan yang berperan penting dalam pembentukan flavor kopi yaitu methanethiol; 2,3-butadione; 2,3-pentadione; hexanal; 2-ethylpyrazine; dan 2-ethyl-6-methylpyrazine, sementara ditinjau dari keefektifan waktu pengeringan, penggunaan instrumen microwave adalah pilihan yang tepat. Namun, tidak efisien dalam pemecahan prekursor menjadi senyawa volatil, sedangkan untuk kadar air dapat disimpulkan bahwa metode yang paling efektif adalah heat pump dryer. Namun, metode ini memiliki kelemahan seperti metode microwave. Drying cabinet merupakan metode yang paling direkomendasikan, karena suhunya yang stabil dan dapat mencapai suhu efektif reaksi Maillard ( $>120^{\circ}\text{C}$ ) yang merupakan reaksi penting dalam proses pembentukan karakteristik flavor.

Kata kunci: kopi robusta, pengeringan, senyawa volatil

## **PENDAHULUAN**

Kopi robusta, kopi eksela, kopi arabika, dan kopi liberika merupakan beberapa jenis kopi yang menjadi salah satu komoditas ekspor Indonesia yang juga dikonsumsi publik sendiri. Beberapa jenis kopi tersebut memiliki keunggulannya masing-masing (Purwanto, Rubiyo, dan Towaha, 2015). Menurut Badan Pusat Statistik, (2018) kopi yang paling banyak diminati di dalam negeri adalah jenis kopi arabika hampir 30%, sedangkan kopi jenis robusta sekitar 70%.

Proses pengeringan menjadi salah satu proses yang perlu diperhatikan dalam menjaga kualitas biji kopi robusta. Tujuan proses pengeringan adalah mencegah terjadinya pembusukan dan memperpanjang masa simpan suatu produk dengan mengurangi kandungan air di dalam produk tersebut (Ekechukwu, dkk., 1999). Kadar air awal pada biji kopi pada umumnya adalah 48,7%. Dalam proses pengeringan, diharapkan kadar air maksimal biji kopi kering menurut SNI yaitu 12.5% (Hidayat, Ubaidillah, dan Siswanto, 2018).

Menurut Mulato dan Sri (2001) biji kopi memiliki senyawa kimia yang sangat kompleks dan beragam. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi senyawa yang terkandung dalam biji kopi adalah spesies, cara pemanenan, pemupukan, praproses pengolahan, kondisi kematangan, dan juga penyimpanan. Metode pengeringan kopi yang umum dilakukan hingga saat ini adalah penjemuran di bawah matahari langsung. Metode pengeringan ini dirasa kurang efektif karena pada praktiknya sangat tergantung pada intensitas cahaya matahari dan iklim yang berubah, membutuhkan lahan yang luas dan juga waktu pengeringan yang panjang (Yani dan Fajrin, 2013).

Pengeringan yang tidak maksimal dapat mempengaruhi mutu biji kopi. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas biji kopi adalah dengan peningkatan efisiensi pada proses pengeringan kopi. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk melakukan peninjauan terhadap metode pengeringan biji kopi robusta secara konvensional, rumah kaca, drying cabinet, heat pump drying, dan microwave terhadap kandungan senyawa volatil dalam kopi agar didapatkan metode pengeringan yang terbaik.

## **PENGARUH METODE PENGERINGAN TERHADAP SENYAWA VOLATIL KOPI ROBUSTA**

Pengeringan merupakan teknik dalam pengawetan yang paling tua dan paling efisien penerapannya dalam industri makanan. Perkembangan secara global dalam teknologi pengeringan kopi menganalisis hilangnya sifat organoleptik (rasa, aroma, dan warna) dalam proses pengeringan dan penyangraian, karena pada saat panas disalurkan ke biji kopi, akan terjadi penurunan kelembaban dan terjadi reaksi kimiawi seperti oksidasi, reduksi, hidrolisis, serta polimerasi. Ada juga perubahan lain seperti perubahan pH, meledaknya biji kopi, serta hilangnya komponen volatil didalam kopi, sehingga hal tersebut dapat mempengaruhi kualitas dari kopi tersebut (Fabbri, dkk., 2011).

### **1. Solar Drying**

Metode *Solar Drying* merupakan proses pengeringan yang lebih murah dengan menghasilkan kualitas yang sama dengan produk yang dihasilkan dengan metode pengeringan *Mechanical Drying* (pengeringan secara mekanis). Saat ini dunia sedang dihadapkan dengan teknologi yang ramah lingkungan serta berkelanjutan, maka *solar*

*dryer* mempunyai keunggulan dalam tidak dihasilkannya emisi dan tidak membutuhkan bahan bakar dalam proses nya. Namun dalam pengaplikasiannya, metode ini bergantung dengan sinar matahari sebagai sumber energinya. *Solar Dryer* sebagian besar digunakan dalam skala yang lebih kecil. Pengering matahari di sisi lain memiliki kelemahan signifikan yaitu; (i) lebih banyak menghabiskan waktu untuk pengeringan dan (ii) sangat tergantung pada kondisi cuaca untuk efek pengeringan yang baik. Tapi kekurangan tersebut masih dapat ditanggulangi karena pengeringan dalam *solar dryer* selalu dapat dibantu dengan kipas dan pemanas tambahan lainnya yang dipasang di pengering dengan tujuan pengeringan yang lebih baik (Dong, dkk., 2017).

*Solar Drying* di klasifikasikan kedalam tiga tipe utama, antara lain *direct*, *indirect*, serta *specialized solar dryers* (Sharma, Chen, dan Vu Lan, 2009). *Direct Solar Dryers* berarti bahwa produk yang akan dikeringkan terkena radiasi oleh matahari secara langsung, dengan menempatkannya di dalam pengering tertutup yang memiliki bahan transparan sebagai penutupnya. Radiasi matahari diserap oleh produk itu sendiri serta oleh permukaan internal ruang pengering, Contohnya penjemuran biji kopi langsung di bawah sinar matahari. Untuk *Indirect Solar Dryers*, radiasi matahari tidak secara langsung terjadi pada bahan yang akan dikeringkan, melainkan udara yang dipanaskan dalam kolektor disalurkan ke ruang pengering, seperti halnya pengeringan dengan menggunakan prinsip rumah kaca. *Specialized Dryers*, juga dikenal sebagai pengering surya hibrida biasanya dirancang khusus untuk suatu produk dan dibedakan oleh fitur tambahan yang dipasang dalam pengering, misalnya pengeringan matahari dengan sel fotovoltaik, sistem dehumidifikasi berbantuan matahari dan banyak lagi (Fudholi, dkk., 2010).

### 1.1. Metode Konvensional (*Direct Solar Dryer*)

Metode konvensional dapat dikenal sebagai metode pengeringan secara langsung dibawah sinar matahari (*direct solar dryer*). Pada metode pengeringan konvensional memiliki keunggulan seperti biaya yang relatif murah dan tidak memerlukan perlakuan khusus, namun metode ini mempunyai beberapa kekurangan yang antara lain yaitu sangat bergantung pada cuaca, rentan terkontaminasi dengan lingkungan sekitar sedikit banyak bahan yang dikeringkan juga bergantung luas tempat pengeringan, dan hasil yang didapat kurang maksimal (Wijayanti dan Hariani, 2019).

Berdasarkan hasil dari analisis menggunakan GC-MS dengan waktu retensi 0-40 menit yang dilakukan oleh Maeztu, dkk., (2001), pada kopi robusta yang dikeringkan secara konvensional diperoleh sebanyak 11 senyawa volatil yang terlampir pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar senyawa volatil dengan metode pengeringan konvensional

Nomor Puncak ( <i>Peak</i> )	Senyawa Volatil	<i>Flavor</i>
1	Methanethiol	<i>Pungent, Sulfur, Garlic</i>
2	Acetaldehyde	<i>Fruity</i>
3	Propanal	<i>Pungent</i>
4	2-methylpropanal	<i>Aldehydic</i>
5	2-methylbutanal	<i>Chocolatey</i>
6	3-methylbutanal	<i>Aldehydic</i>
7	2,3-butadione	<i>Buttery, Creamy</i>
8	2,3-pentadione	<i>Buttery</i>
9	Hexanal	<i>Green, Grassy</i>
10	2-ethylpyrazine	<i>Nutty</i>
11	2-ethyl-6-methylpyrazine	<i>Roasted, hazelnut-like</i>

## 1.2. Metode Rumah Kaca (*Indirect Solar Dryer*)

Sistem pengeringan dengan menggunakan rumah kaca pada dasarnya merupakan sistem yang sederhana dalam konstruksi dan terdiri dari kolektor serta *tunnel* (terowongan) pengeringan yang dihubungkan secara seri. Kolektor dan terowongan pengeringan ditutupi dengan kaca transparan atau lembaran plastik. Elemen kolektor berisi pelat penyerap berwarna hitam, sementara ruang pengering memiliki jumlah baki (*tray*) untuk memuat produk yang akan dikeringkan. Di sisi lain, rumah kaca pada dasarnya adalah sebuah struktur tertutup yang ditutupi dengan lembaran plastik tahan UV yang distabilkan, berperan sebagai kolektor surya dan ruang pengering. Pengering semacam itu digunakan untuk pengeringan beberapa produk pertanian dengan biaya rendah (Patil dan Gawande, 2016).

Berdasarkan analisis senyawa volatil yang terkandung didalam biji kopi robusta dengan menggunakan metode rumah kaca dalam pengeringannya oleh (Dong, dkk., 2015) menggunakan GC-MS dengan waktu retensi 0-40 menit menghasilkan sebanyak 37 senyawa volatil yang terlampir pada Tabel 2.

Tabel 2. Daftar senyawa volatil dengan metode pengeringan rumah kaca

Nomor Puncak ( <i>Peak</i> )	Senyawa Volatil	<i>Flavor</i>
1	3-Methylbutanal	<i>Aldehydic</i>
2	Ethanol	<i>Sweet</i>
3	Pentanal	<i>Woody Fruity</i>
4	Toluene	<i>Sweet</i>
5	Hexanal	<i>Green, Grassy</i>
6	Pyridine	<i>Sour, Fishy</i>
7	Heptanal	<i>Green</i>
8	D-Limonene	-
9	2-Hexenal	<i>Green</i>
10	2-Pentylfuran	<i>Nutty, Bean</i>
11	1-Pentanol	<i>Sweet, Balsam</i>
12	Methylpyrazine	<i>Nutty, Roasted Chocolatey</i>
13	Octanal	<i>Citrus, Orange</i>
14	Tridecane	<i>Herbaceous</i>
15	(Z)-2-Heptenal	<i>Green</i>
16	2,6-Dimethylpyrazine	<i>Roasted Nut</i>
17	2-Ethylpyrazine.	<i>Nutty</i>
18	6-Methyl-5-Hepten-2-One	-
19	2,6,10,14-Tetramethylhexadecane	-
20	3,5-Dimethyldodecane	-
21	Nonanal	<i>Citrus, With Fresh Green Lemon</i>
22	4,8-Dimethyltridecane	-
23	(E)-3-Tetradecene	-
24	Tetradecane	<i>Waxy</i>
25	2-Dodecenal	<i>Herbal</i>
26	Acetic Acid	<i>Pungent, Sour, Vinegar-Like</i>
27	7-Methylpentadecane	-
28	1-Octen-3-Ol	<i>Green, Oily, Vegetative</i>
29	4-Methyltetradecane	-
30	10-Methyleicosane	-
31	3-Methyltetradecane	-
32	1,1'-(1,3-Propanedyl)Bis-Cyclohexane	-
33	Benzaldehyde	<i>Fruity, Cherry</i>
34	Pentadecane	<i>Waxy</i>
35	2-Methyl-(Z)-4-Tetradecene	-
36	4-Methyldodecane	-
37	2-Methylpentadecane	-

## 2. Drying Cabinet

*Drying Cabinet* merupakan alat pengering yang dalam mekanismenya memanfaatkan prinsip konveksi dan konduksi. Prinsip konveksi menggunakan hembusan udara kering yang di alirkan, sedangkan prinsip konduksi menggunakan *tray* (baki untuk meletakkan sampel biji kopi) yang di susun secara vertikal (bertingkat). Mekanisme yang digunakan dalam *Cabinet Dryer* dengan tipe *tray drying* untuk menggerakkan arah udara kering dilengkapi dengan *fan*, sehingga aliran udara panas secara menyeluruh tersalurkan di dalam *chamber*. Proses pengeringan menggunakan *Drying Cabinet* akan lebih optimal bilamana digunakan dalam skala kecil, karena udara panas akan secara langsung berkontak dengan sampel. Akan tetapi, instrumen ini memerlukan tenaga kerja dalam proses produksinya, di samping itu biaya pengoperasiannya yang sedikit mahal, sehingga instrumen ini lebih dimanfaatkan dalam proses pengeringan bahan yang memiliki nilai tinggi. *Drying Cabinet* memiliki dua macam tipe, yaitu *tray drying* dan *vacuum drying*. *Vacuum drying* memanfaatkan pompa dalam penyaluran udara, sedangkan pada *tray drying* tidak memanfaatkan pompa dalam penyaluran udara (Chairunnisak, 2011).

Suhu yang digunakan selama proses pengeringan tidak terlalu tinggi, hal ini bertujuan dalam menghindari terjadinya penyusutan berat yang signifikan, mencegah kerusakan aroma dan *flavor*, serta mencegah hilangnya banyak nutrisi yang terkandung di dalam biji. Sementara itu, boiler memiliki peran sebagai pemanas atau pengering udara serta penyalur udara kering yang kemudian akan digunakan pada proses pengeringan. *Steam* merupakan suatu medium pemanas yang dimiliki oleh *boiler*. Agar udara dapat dikeringkan secara optimal, sehingga dapat memenuhi kebutuhan panas didalam proses pengeringan, kualitas dari pada steam yang digunakan adalah sebesar 90%. (Chairunnisak, 2011).

Berdasarkan analisis senyawa volatil di dalam biji kopi robusta yang dilakukan oleh Nebesny dan Majda, (2011) dengan menggunakan metode rumah kaca dalam pengeringannya, menghasilkan sebanyak 104 senyawa volatil yang terlampir pada Tabel 3 dengan menggunakan GC-MS dengan waktu retensi 0-40 menit.

Tabel 3 Daftar senyawa volatil dengan metode pengeringan *drying cabinet*

Nomor Puncak ( <i>Peak</i> )	Senyawa Volatil	<i>Flavor</i>
1.	1,3-Pentadiene	<i>Kerosine-Like</i>
2.	Methanethiol	<i>Pungent, Sulfur, Garlic</i>
3.	Dimethyl Sulphide	<i>Vegetable, Tomato</i>
4.	Trimethylhydrazine	-
5.	2-Buten-1-Ol	<i>Fruity</i>
6.	2-Butanone	<i>Ethereal</i>
7.	2-Methyl-2-Buten-1-Ol	<i>Fruity</i>
8.	3-Methyl-3-Buten-2-Ol	<i>Fruity</i>
9.	Ethanol	<i>Sweet</i>
10.	2,5-Dimethylfuran	<i>Nutty</i>
11.	2,4-Dimethylfuran	<i>Nutty</i>
12.	2,2-Dimethylpropanal	<i>Gasoline-Like</i>
13.	2,3-Butanedione	<i>Buttery, Creamy</i>
14.	Tiophene	<i>Sulfurous</i>
15.	2-Ethyl-5-Methylfuran	-
16.	2-Butenal	<i>Cocoa, Floral, Musty, Sweet</i>
17.	2,3-Pentadiene	-
18.	Dimethyl Disulphide	<i>Sulfurous</i>
19.	Phenol	<i>Phenolic</i>
20.	Hexanal	<i>Green, Grassy</i>
21.	2-Methyltiophene	<i>Ash</i>
22.	3-Methyl-2-Butenal	<i>Fruity</i>

Editor: Siti Herlinda et. al.

ISBN: 978-979-587-903-9

Penerbit: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)

**Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-8 Tahun 2020, Palembang 20 Oktober 2020  
"Komoditas Sumber Pangan untuk Meningkatkan Kualitas Kesehatan di Era Pandemi Covid -19"**

23.	2-Butenoic Acid Methyl Ester	-
24.	3-Methyl-3-Hexanone	<i>Fruity</i>
25.	1-Methylpyrrole	<i>Woody, Herbal</i>
26.	3,4-Hexadione	<i>Buttery</i>
27.	3-Methylphenol	<i>Woody</i>
28.	Pyridine	<i>Sour, Fishy</i>
29.	2,4,5-Trimethyloxazol	<i>Nutty</i>
30.	2-(2-Propenyl)-Furan	-
31.	1,2-Dimethylpyrrole	-
32.	Pyrazine	<i>Pungent, Sweet, Nutty</i>
33.	Furfurylmethyl Sulphide	<i>Roasty, Burnt</i>
34.	Tetrahydro-3-Methylfuran	-
35.	Pyrazinamid	-
36.	2-Methylpyrazine	<i>Nutty, Cocoa-Like, Roasty</i>
37.	2,5-Dimethylpyrrole	-
39.	4-Methylthiazole	<i>Coffee-Alike, Nutty, Tomato</i>
39.	2-Hydroxy-2-Butanone	<i>Sweet Malt, Butterscotch Nuance</i>
40.	1,2-Ethanediol	-
41.	2,5-Dimethylpyrazine	<i>Nutty, Roasted</i>
42.	2,6-Dimethylpyrazine	<i>Nutty, Sweet</i>
43.	2-Ethylpyrazine	<i>Nutty</i>
44.	2-Hydroxy-3-Pentanone	-
45.	2,3-Dimethylpyrazine	<i>Nutty, Coffee-Like, Caramellic</i>
46.	2-Cyclopenten-1-One	-
47.	2-Methyl-3-Hexanone	<i>Fruity</i>
48.	2-Methyl-2-Cyclopenten-1-One	-
49.	1-Hydroxy-2-Butanone	<i>Sweet Malt, Butterscotch Nuance</i>
50.	2-Ethyl-6-Methylpyrazine	<i>Roasted, Hazelnut-Like</i>
51.	2-Ethyl-5-Methylpyrazine	<i>Hazelnut-Like</i>
52.	2-Amino-4-Methylthiazole	-
53.	2-Ethyl-3-Methylpyrazine	<i>Nutty</i>
54.	5-Methyl-2(5H)-Furanone	<i>Caramellic</i>
55.	Vinylpyrazine	<i>Green, Nutty</i>
56.	2-Methyl-5-Propylpyrazine	<i>Roasted Peanut, Cocoa</i>
57.	2,6-Diethylpyrazine	<i>Chocolate</i>
58.	2-Furfural	<i>Pungent, Sweet, Caramellic</i>
59.	2-(1-Propenylthio)-Propane	-
60.	2-Furfuryl Methyl Sulphide	<i>Alliaceous, Sulfurous</i>
61.	2-Methyl-3,5-Diethylpyrazine	<i>Nutty</i>
62.	2-Methyl-5-Vinylpyrazine	<i>Coffee</i>
63.	Furfuryl Formate	<i>Ethereal</i>
64.	<i>1H</i> -Pyrrole	<i>Sweet, Nutty</i>
65.	Benzaldehyde	<i>Fruity, Cherry</i>
66.	2,3-Dimethyl-2-Cyclopenten-1-One	-
67.	1-Acetyloxy-2-Butanone	<i>Fruity</i>
68.	2-Furanmethanol Acetate	<i>Fruity, Estery</i>
69.	2-Acetyl-1-Methylpyrrole	<i>Roasted</i>
70.	5-Methyl-2-Furfural	<i>Caramellic</i>
71.	Isopropenylpyrazine	<i>Earthy</i>
72.	2-Amino-5-Methylphenol	-
73.	2,2'-Methylenedifuran	<i>Coffee</i>
74.	5-Methyl-6,7-Dihydro-(5H)- Ciklopentapyrazine	<i>Earthy</i>

Editor: Siti Herlinda et. al.

ISBN: 978-979-587-903-9

Penerbit: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)

75.	2-Isoamyl-6-Methylpyrazine	Nutty
76.	2-Acetyl-5-Methylfuran	Nutty
77.	2-Acetylpyrazine	Popcorn, Roasty
78.	$\Gamma$ -Butyrolactone	Nutty
79.	1,2,4-Triazololo[1,5-A]Pyrazine	-
80.	2,3-Dimethyl-6-Isobutylpyrazine	Nutty
81.	2-Furanmethanol	Sweet Caramel, Bready
82.	5-Methyl-2,2'-Difurfuryl Disulphide	Wheat, Bready
83.	2,6-Dimethyl- <i>P</i> -Benzoquinone	-
84.	2-Acetyl-3-Methylpyrazine	Potato, Nutty, Hazelnut
85.	5,6-Epoxy- <i>P</i> -Ment-8-En-3-One	Peppermint, Camphor
86.	2-Allyl-3-Methylpyrazine	Nutty, Chocolate
87.	4-(5-Methyl-2-Furanyl)-2-Butanone	-
88.	3-Methyl-2(5 <i>H</i> )-Furanone	Caramellic
89.	Pyrazine Carboxamide	-
90.	3,4-Dimethyl-2,5-Furandione	-
91.	3-Octen-2-Ol	Mushroom
92.	3-Ethyl-4-Methyl-2,5-Furandione	-
93.	Methyl Salicylate	Fruity, Wintergreen, Sweet
94.	2-Pyridinecarboxylic Acid 6-Methyl Ester	-
95.	2-Hydroxy-3-Methyl-2-Cyclopenten-1-One	-
96.	Ethyl Salicylate	Minty, Wintergreen
97.	3-Octen-2-One	Creamy
98.	1-(2-Furanylmethyl)-1 <i>H</i> -Pyrrole	Bready, Roasted Almond, Malt
99.	3-Phenylfuran	-
100.	2-Metoxyphenol	Woody
101.	3-Acetoxy-4-Methylpyridine	-
102.	A-Ethylbenzenon	-
103.	1-(2-Phenyl)-1-Propanol	-
104.	2-Hydroxy-2,3-Dimethyl-2-Cyclopenten-1-One	-

### 3. Heat pump drying (HPD)

*Heat Pump Drying* (HPD) sudah diaplikasikan secara luas dalam proses pengeringan biji kopi maupun produk pertanian lain. HPD adalah suatu instrumen yang dalam penggunaannya memanfaatkan prinsip carnot terbalik, menyerap udara panas luar ruangan dan kemudian memindahkannya ke ruang pengeringan, untuk menghasilkan suhu ruang pengeringan, bekerja sama dengan peralatan yang relevan untuk mewujudkan pengeringan bahan. Bagian utama pengering pompa panas termasuk kompresor, penukar panas, *choke*, penyerap panas - unit kompresor merupakan sistem sirkulasi, dan lain sebagainya di bawah aksi refrigeran dalam kompresor yang bersirkulasi dalam sistem. Panas tersebut dihasilkan melalui proses pemanasan booster gas kompresor (suhu hingga 100 °C), yang kemudian panas tersebut dialirkan kedalam ruang (Fernando, Amaratunga, dan Madhushanka, 2020).

*Heat Pump* (HP) memungkinkan pengeringan produk dengan konsumsi energi yang lebih rendah, kelembaban relatif yang lebih rendah, dan pada suhu yang lebih rendah (Michopoulos, Zachariadis, dan Kyriakis, 2013) Beberapa peneliti menguraikan ulasan tentang pengeringan menggunakan HP terhadap produk pertanian (Chong, dkk., 2013; Fadhel, dkk., 2011; "Food Saf. Preserv.," 2018; Kivevele dan Huan, 2014; Patel dan Kar, 2012) telah mengidentifikasi bahwa banyak keuntungan pengeringan menggunakan HP dibandingkan pengeringan udara panas konvensional. Pengering HP memiliki kinerja yang

*Editor: Siti Herlinda et. al.*

*ISBN: 978-979-587-903-9*

*Penerbit: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)*

lebih baik dibandingkan pengering udara panas konvensional dengan memberikan efisiensi pengeringan yang tinggi, mengontrol kondisi pengeringan secara akurat, menyediakan berbagai kondisi pengeringan, menghasilkan produk berkualitas tinggi, meningkatkan keseluruhan, dan menurunkan biaya operasional. Pengering HP juga memulihkan panas selama proses pengeringan, sehingga menghasilkan efisiensi pengeringan yang tinggi. Panas laten penguapan dari udara buangan lembab yang diekstraksi di evaporator memberikan energi yang diperoleh kembali sebagai panas sensibel ke udara pengering yang melewati kondensor. Pemulihan panas ini menghasilkan energi yang lebih rendah yang dikonsumsi untuk setiap unit air yang dibuang. Daghigh, dkk., (2010) juga menganalisis pengeringan udara panas dan pengeringan HP dan menunjukkan bahwa pengeringan HP memiliki efisiensi pengeringan yang lebih tinggi dan biaya operasional yang rendah daripada pengeringan udara panas konvensional. Chin dan Law (2010) menyoroti bahwa mengganti pengeringan HP sebagai ganti oven konvensional menghemat sekitar 60% hingga 80% energi.

Tabel 4. Daftar senyawa volatil dengan metode pengeringan *heat pump drying*

Nomor Puncak ( <i>Peak</i> )	Senyawa Volatil	<i>Flavor</i>
1	Methanethiol	<i>Sulfurous</i>
2	Propanal	<i>Fruity, pungent</i>
3	2-Methylpropanal	<i>Sharp, Pungent</i>
4	2-Methylbutanal	<i>Sharp, Pungent</i>
5	2,3-Butanedione	<i>Sweet, Creamy</i>
6	2,3-Pentanedione	<i>Nutty, Fruity, Sweet</i>
7	Hexanal	<i>Fruity</i>
8	2-Methylpyrazine	<i>Hazelnut, Chocolate</i>
9	2,6-Dimethylpyrazine	<i>Chocolate</i>
10	2-Ethylpyrazine	<i>Roasted peanut, Chocolate</i>
11	2,3-Dimethylpyrazine	<i>Nutty</i>
12	Dimethyl Trisulfide	<i>Alliaceous</i>
13	Trimethylpyrazine	<i>Chocolate, Nutty</i>
14	2,6-Diethylpyrazine	<i>Nutty, Coffee-alike</i>
15	3-Ethyl-2,5-Dimethylpyrazine	<i>Roasted, Nutty</i>
16	2-Furfurylthiol	<i>Roasted coffee</i>
17	1-Octen-3-Ol	<i>Earthy</i>
18	2-Ethyl-3,5-Dimethylpyrazine	<i>Nutty</i>
19	Methional	<i>Potato</i>
20	2,3-Diethyl-5-Methylpyrazine	<i>Roasted hazelnut, nutty</i>
21	3-Mercapto-Methylbutyl Formate	<i>Coffee-alike</i>
22	2-Isobutyl-3-Methoxy pyrazine	<i>Green, peppery</i>
23	3-Methylbutanoic Acid	<i>Fruity, woody</i>
24	E)-B)-Damascenone	<i>Woody</i>
25	Guaiacol	<i>Smoky, vanilla, woody</i>
26	4-Ethylguaiacol	<i>Smoky, woody</i>
27	4-Vinylguaiacol	<i>Spicy</i>
28	Indole	<i>Flowery, fresh, fruity</i>
29	3-Methylindole	<i>Strong, pungent</i>

Pengering HP dapat mengontrol suhu dan kelembapan udara pengeringan, menyediakan berbagai kondisi pengeringan. Rentang suhu 20°C hingga 100°C dan kisaran kelembapan relatif 15-80% menghasilkan pengering HP dengan mekanisme pemanas tambahan dan sistem pelembab, secara bersamaan. Selain itu, suhu evaporator dan kondensor dapat disetel ke tingkat optimal dengan sensor canggih dan pengontrol canggih. Chua, Chou, dan Yang (2010) menyatakan bahwa pengering HP membawa udara kering pada suhu rendah dengan efisiensi tinggi dibandingkan pengering konvensional,



menghasilkan produk berkualitas tinggi. Beberapa penelitian juga mengungkapkan bahwa menghasilkan produk berkualitas tinggi merupakan keuntungan yang signifikan dari pengering HP. Chahbani, Labidi, dan Paris, 2004; Emmi, Zarrella, De Carli, dan Galgaro, 2015; Fadhel, dkk., 2011; Sarbu dan Sebarchievici, 2014 menyoroti bahwa kualitas warna dan aroma produk pertanian kering dengan menggunakan pengering HP lebih baik daripada produk kering udara panas konvensional.

Berdasarkan analisis senyawa volatil di dalam biji kopi robusta yang dilakukan oleh (Fernando, dkk., 2020; Kulapichitr, dkk., 2019) dengan menggunakan metode *heat pump drying* dalam pengeringannya, menghasilkan sebanyak 29 senyawa volatil yang terlampir pada Tabel 4 dengan menggunakan GC-MS dengan waktu retensi 0-40 menit.

#### **4. Microwave**

Microwave dalam mekanisme kerjanya memanfaatkan energi gelombang mikro yang merupakan radiasi elektromagnetik non-pengion dengan frekuensi yang berkisar dari 300 MHz hingga 300 GHz (panjang gelombang berkisar antara 1 sampai 300 mm) (Hammer, dkk., 2015). Gelombang mikro dapat ditransmisikan, diserap, maupun dipantulkan. Insulator transparan terhadap gelombang mikro, oleh karenanya tidak menyimpan energi dalam bentuk panas. Logam dengan konduktivitas tinggi memantulkan gelombang mikro, yang tidak memberikan efek pemanasan yang signifikan. Bahan seperti semi konduktor, dengan konduktivitas sedang dapat dipanaskan secara efektif dengan gelombang mikro (Dudley, Richert, dan Stiegman, 2015). Fitur khusus dan unik dari pemanas *microwave* ini telah digunakan untuk mengeringkan berbagai bahan seperti bahan makanan. Dengan pengeringan konvensional, proses pengeringan konvektif dalam makanan karena suhu tinggi dan waktu pengeringan yang lama dapat menyebabkan perubahan tekstur (penyusutan, pengerasan casing), kehilangan warna, penurunan nilai nutrisi, berkurangnya sifat rehidrasi, hilangnya aroma dan rasa, dan lain sebagainya (Olmos Villalba, Duque Grisales, dan Rodriguez, 2017). Oleh karena itu, pengeringan gelombang mikro telah digunakan dalam pengolahan makanan karena pemanfaatan ruang, sanitasi, penghematan energi, dan mencegah makanan dari dekomposisi enzimatis.

Berdasarkan analisis senyawa volatil di dalam biji kopi robusta yang dilakukan oleh (Baggenstoss, dkk., 2010; Bressanello, dkk., 2017) dengan menggunakan metode *microwave* dalam pengeringannya, menghasilkan sebanyak 43 senyawa volatil yang terlampir pada Tabel 5 dengan menggunakan GC-MS dengan waktu retensi 0-40 menit.

Berdasarkan lima metode pengeringan yang digunakan di atas, didapatkan flavor yang telah dirangkum dalam diagram berikut (Gambar 1) Dari data tersebut maka dapat disimpulkan bahwa terdapat sebanyak 6 macam senyawa volatil dominan yang terkandung di dalam kopi robusta yang berpengaruh dalam terbentuknya flavor pada kopi robusta pada Tabel 6.

Dalam pembentukan karakteristik flavor, reaksi kimia yang sangat penting dalam pembentukannya adalah reaksi Maillard. Reaksi Maillard terjadi antara gula pereduksi dengan asam amino. Gula pereduksi adalah gula yang memiliki kelompok aldehida atau keton bebas. Kelompok-kelompok ini mengandung atom oksigen dengan ikatan rangkap yang menyatukannya dengan rantai karbon, yang dapat dengan mudah bereaksi dengan asam amino dan banyak senyawa lainnya. Pada reaksi maillard akan terjadi pemecahan senyawa prekursor menjadi senyawa volatil yang sangat berpengaruh terhadap flavor kopi. Laju dari Reaksi Maillard akan signifikan pada suhu diatas 120°C. (Liu dan Kitts, 2011).

Dari ketiga metode, *drying cabinet* merupakan metode yang paling direkomendasikan karena suhu pengeringannya lebih konstan dan dapat mencapai suhu diatas 120°C.

Tabel 5. Daftar senyawa volatil dengan metode pengeringan *microwave*

Nomor Puncak ( <i>Peak</i> )	Senyawa Volatil	Flavor
1	Dimethyl Sulfide	<i>Sulfurous</i>
2	Hexanal	<i>Fruity</i>
3	2-Ethyl-3,5-Dimethylpyrazine	<i>Nutty, chocolate</i>
4	2-Ethyl-3,6-Dimethylpyrazine	<i>Nutty, chocolate</i>
5	2-Methylbutanal	<i>Chocolate, coffee</i>
6	3-Methylbutanal	<i>Chocolate, coffee</i>
7	2,3-Butanedione	<i>Buttery</i>
8	2,3-Pentanedione	<i>Buttery</i>
9	Pyridine	<i>Fishy</i>
10	4-Vinylguaiacol	<i>Spicy</i>
11	1-Hydroxy-2-Butanone	<i>Woody</i>
12	1H-Pyrrole-2-Carboxaldehyde	<i>Roasted nutty</i>
13	1-Methyl-2-Acetylpyrrole	<i>Nutty</i>
14	2-Butanone	<i>Ethereal</i>
15	3-Hydroxy-2-Oxopropylpropanoate	<i>Buttery, creamy</i>
16	2-Furfurylfuran	<i>Balsamic, Green, Caramel, Sweet</i>
17	2-N-Propylpyrazine	<i>Green, potato</i>
18	2-Propanone	<i>Pungent</i>
19	1-Hydroxy-2-Vinyl-5-Methylfuran	<i>Nutty</i>
20	2-Cyclopenten-1-One	<i>Fresh, fruity, herb, woody</i>
21	5-Methyl Furfural	<i>Caramelly, Sweet</i>
22	Acetic Acid	<i>Pungent, Fruity, Bready</i>
23	Acetylfuran	<i>Sweet, balsamic, cereal</i>
24	Ethanone	<i>Nutty, Almond</i>
25	Furfuryl Alcohol	<i>Caramel, Coffee-alike, Sweet</i>
26	Furfurylformate	<i>Estery, fruity</i>
27	Furfuryl Methyl Sulphide	<i>Pungent, Bready</i>
28	Guaiacol	<i>Smoky, vanilla, woody</i>
29	4-Ethyl-Guaiacol	<i>Smoky, woody</i>
30	Methyl Acetate	<i>Fruity</i>
31	Pyrazine	<i>Hazelnut, nutty</i>
32	(1-Methylethenyl)-Pyrazine	<i>Caramelly</i>
33	2-Methyl-6-(1-Propenyl)- Pyrazine	<i>Coffee-alike</i>
34	Difurfuryl Ether	<i>Earthy</i>
35	(5h)-5-Methyl-6,7-Dihydrocyclopentapyrazine	<i>Earthy, potato, peanut</i>
36	2-Isopropenylpyrazine	<i>Minty, Green</i>
37	2,5-Dihydro-3,5-Dimethyl-2-Furanone	<i>Fruity</i>
38	2-Furfuryl-5-Methylfuranone	<i>Caramelly, Sweet</i>
39	Methanethiol	<i>Sulfuric</i>
40	Propanal	<i>Fruity</i>
41	2-Methylpropanal	<i>Sharp, pungent</i>
42	2-Methylbutanal	<i>Fruity</i>
43	3-Methylbutanal	<i>Fruity</i>

### **Perbandingan Suhu serta Lama Waktu Pengeringan Terhadap Kadar Air Biji Kopi**

Penelitian mengenai kadar air dari kopi berdasarkan metode pengeringan telah dilakukan oleh beberapa peneliti yang hasilnya akan dirangkum pada Tabel 7.



Gambar 1. Diagram flavor kopi robusta dari 5 metode pengeringan 1) Hijau, merupakan hasil senyawa dengan metode pengeringan Drying Cabinet; 2) Biru, merupakan hasil senyawa dengan metode pengeringan Microwave Drying; 3) Merah, merupakan hasil senyawa dengan metode pengeringan Heat Pump Drying; 4) Ungu, merupakan hasil senyawa dengan metode pengeringan Rumah Kaca; 5) Orange, merupakan hasil senyawa dengan metode pengeringan Konvensional.

Tabel 6 Senyawa volatil dominan yang terkandung di dalam kopi robusta

Senyawa	Flavor	Literatur
Methanethiol	Pungent	(Leobet <i>et al.</i> , 2019; Thammarat, <i>et al.</i> , 2018)
2,3-butadione	Nutsy	(Leobet <i>et al.</i> , 2019; Thammarat <i>et al.</i> , 2018)
2,3-pentadione	Nutsy	(Leobet <i>et al.</i> , 2019; Thammarat <i>et al.</i> , 2018)
Hexanal	Green, Grassy	(Leobet <i>et al.</i> , 2019; Thammarat <i>et al.</i> , 2018)
2-ethylpyrazine	Nutsy, Roasted	(Leobet <i>et al.</i> , 2019; Thammarat <i>et al.</i> , 2018)
2-ethyl-6-methylpyrazine	Roasted, Hazelnut	(Leobet <i>et al.</i> , 2019; Thammarat <i>et al.</i> , 2018)

Berdasarkan data dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pengeringan menggunakan *drying cabinet* dinilai lebih efektif dibandingkan dengan metode lainnya. Hal ini dibuktikan dengan kadar air yang diperoleh. Akan tetapi, secara garis besar terdapat kelemahan dan keunggulan dari setiap metode. Pada metode pengeringan konvensional memiliki keunggulan seperti biaya yang relatif murah dan tidak memerlukan perlakuan khusus, sedangkan kekurangannya, pengeringan dengan menggunakan metode konvensional sangat bergantung pada cuaca, rentan terkontaminasi dengan lingkungan

sekitar, sedikit banyak bahan yang dikeringkan juga bergantung luas tempat pengeringan, dan hasil yang didapat kurang maksimal.

Tabel 7. Perbedaan Suhu dan Waktu Pengeringan Metode *solar drying* (pengeringan secara konvensional dan rumah kaca), *heat pump drying*, *microwave* dan *drying cabinet*

	Suhu (°C)	Waktu	Kadar Air	Referensi
<i>Solar Drying</i>	30-39	240 jam-360 jam	14%	(Wijayanti & Hariani, 2019)
	40-46	168 – 240 jam	13%	(Wijayanti & Hariani, 2019)
	30-39	360 jam	11,79%	(Martin <i>et al.</i> , 2011)
	30-39	264 jam	11,21	(Oliveira <i>et al.</i> , 2013)
	30-39	251 jam	11,8	(Oliveira <i>et al.</i> , 2018)
<i>Drying Cabinet</i>	60	120 jam	11,15%	(Martin <i>et al.</i> , 2011)
	40	120 jam	12,22%	(Martin <i>et al.</i> , 2011)
	50/40	61 jam	11,31%	(Oliveira <i>et al.</i> , 2013)
	60/40	58 jam	11,22%	(Oliveira <i>et al.</i> , 2013)
	40/60	38 jam	11,35%	(Oliveira <i>et al.</i> , 2013)
	35/40	113 jam	11,4%	(Oliveira <i>et al.</i> , 2018)
	35/45	97 jam	11,1%	(Oliveira <i>et al.</i> , 2018)
	40/35	139 jam	11,2%	(Oliveira <i>et al.</i> , 2018)
	45/35	117 jam	11%	(Oliveira <i>et al.</i> , 2018)
50/35	107 jam	11%	(Oliveira <i>et al.</i> , 2018)	
<i>Heat pump drying</i>	40	23 jam	9,66%	(Kulapichitr <i>et al.</i> , 2019)
	45	16 jam	10,48%	(Kulapichitr <i>et al.</i> , 2019)
<i>Microwave</i>	50	12 jam	10,71%	(Kulapichitr <i>et al.</i> , 2019)

Penggunaan efek rumah kaca memiliki keunggulan seperti kualitas yang didapatkan lebih bagus daripada metode konvensional, mencegah adanya kontaminasi, dan waktu pengeringannya lebih efisien. Namun untuk kekurangannya, metode ini memerlukan perlakuan khusus pada tahap tertentu dan biaya yang dibutuhkan cukup mahal. Pengeringan biji kopi dengan menggunakan metode *drying cabinet* memiliki keunggulan seperti *drying cabinet* lebih konstan dan stabil, berdasarkan prinsipnya sistem pengeringannya menggunakan uap air panas secara konveksi dan secara konduksi melalui sejumlah wadah penampungan sampel. Uap air panas atau udara memiliki sifat pindah panas yang lebih unggul ketimbang pemanasan udara dari suhu yang sama (Prayitno SP dan Guntoro, 2019), sedangkan kekurangannya adalah modal biaya yang diperlukan cukup mahal dan perawatan mesin yang cukup mahal (Sontakke dan Salve, 2012).

Metode pengeringan dengan *heat pump* memiliki keunggulan yaitu menghasilkan kadar air yang rendah dalam waktu singkat dibandingkan metode lainnya. Tetapi, metode ini memiliki kelemahan yaitu biaya operasional dan perawatan yang mahal, sedangkan pengeringan menggunakan metode *microwave* Pemanasan gelombang mikro memiliki beberapa fitur unik yang tidak terdapat dalam metode pengeringan konvensional, seperti berikut ini. (1) Cepat; laju pemanasan jauh lebih tinggi daripada pemanasan konvensional. (2) Biasanya lebih seragam daripada pemanasan konvensional. (3) Selektif yang berarti daerah lembab lebih panas dari pada daerah kering; selektivitas seperti itu tidak ada dalam pemanasan konvensional. (4) Penguapan internal yang signifikan di dalam bahan yang dipanaskan dengan gelombang mikro mengarah ke mekanisme tambahan transportasi kelembapan yang meningkatkan hilangnya kelembapan selama pemanasan. (5) Bisa dihidupkan atau dimatikan secara instan, tidak seperti pemanas konvensional (Oghbaei dan Mirzaee, 2010). Kelemahan metode ini adalah membutuhkan arus listrik yang stabil dan biaya operasional dan perawatannya cukup mahal.

## KESIMPULAN

Dalam proses pengeringan menggunakan metode konvensional, rumah kaca, *drying cabinet*, *heat pump drying*, dan *microwave* menghasilkan enam jenis senyawa volatil dominan yang berpengaruh dalam terbentuknya flavor pada kopi robusta yaitu methanethiol; 2,3-butadione; 2,3-pentadione; hexanal; 2-ethylpyrazine; dan 2-ethyl-6-methylpyrazine. Keenam senyawa volatil tersebut diperoleh melalui Reaksi Maillard. Laju dari Reaksi Maillard akan signifikan pada suhu diatas 120° C. Ditinjau dari keefektifan waktu pengeringan, penggunaan instrumen *microwave* adalah suatu pilihan yang tepat, selain dapat diatur suhunya, gelombang mikro akan secara selektif memanaskan bagian sampel yang memiliki kelembaban lebih tinggi. Namun, dalam penggunaan *microwave* tidak efisien dalam pemecahan prekursor menjadi senyawa volatil, sedangkan untuk kadar air pada masing-masing metode, dapat disimpulkan bahwa metode yang paling efektif adalah *heat pump dryer* (HPD) dilihat dari kadar air yang diperoleh. Namun, metode HPD tidak menghasilkan senyawa volatil lebih banyak dibandingkan dengan penggunaan metode *drying cabinet*. Oleh sebab itu, metode pengeringan yang direkomendasikan adalah *drying cabinet* karena suhunya yang stabil dan dapat mencapai suhu diatas 120° C, serta dapat secara efisien memecah prekursor menjadi senyawa volatil yang beragam.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada dosen dosen Teknologi Pangan UKSW yang telah membantu *mereview* penulisan saya. Terima kasih juga kepada mahasiswa yang telah membantu dalam kelancaran penulisan saya ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. 2018. Data Statistik Kopi di Indonesia. Retrieved July 20, 2020, from [www.bps.go.id](http://www.bps.go.id).
- Baggenstoss J, Thomann D, Perren R & Escher F. 2010. Aroma Recovery from Roasted Coffee by Wet Grinding. *Journal of Food Science*, 75(9). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01822.x>.
- Bressanello D, Liberto E, Cordero C, Rubiolo P, Pellegrino G, Ruosi M R, & Bicchi C. 2017. Coffee aroma: Chemometric comparison of the chemical information provided by three different samplings combined with GC–MS to describe the sensory properties in cup. *Food Chemistry*, 214: 218–226. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.088>.
- Chahbani M H, Labidi J & Paris J. 2004. Modeling of adsorption heat pumps with heat regeneration. *Applied Thermal Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2003.08.012>
- Chairunnisak A. 2011. *Peralatan Pengeringan (Dryer); Pengeringan Coklat Menggunakan Cabinet Dryer*. Banda Aceh.
- Chin S K & Law C L. 2010. Product quality and drying characteristics of intermittent heat pump drying of *Ganoderma tsugae* Murrill. *Drying Technology*. <https://doi.org/10.1080/07373937.2010.482707>.
- Chong C H, Law C L, Figiel A, Wojdylo A & Oziembowski M. 2013. Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.042>
- Chua K J, Chou S K & Yang W M. 2010. Advances in heat pump systems: A review.

- Applied Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.06.014>
- Daghigh R, Ruslan M H, Sulaiman M Y, & Sopian K. 2010. Review of solar assisted heat pump drying systems for agricultural and marine products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.04.004>
- Dong W, Hu R, Chu Z, Zhao J & Tan L. 2017. Effect of Different Drying Techniques on Bioactive Components, Fatty Acid Composition, and Volatile Profile of Robusta Coffee Beans. *Food Chemistry*, 234, 121–130. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.156>
- Dong W, Tan L, Zhao J, Hu R & Lu M. 2015. Characterization of Fatty Acid, Amino Acid and Volatile Compound Compositions and Bioactive Components of Seven Coffee (*Coffea robusta*) Cultivars Grown in Hainan Province, China. *Molecules*, 20(9), 16687–16708. <https://doi.org/10.3390/molecules200916687>
- Dudley G B, Richer, R & Stiegman A E. 2015. On the existence of and mechanism for microwave-specific reaction rate enhancement. *Chemical Science*. <https://doi.org/10.1039/c4sc03372h>
- Emmi G, Zarrella A, De Carli M & Galgar A. 2015. An analysis of solar assisted ground source heat pumps in cold climates. *Energy Conversion and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.10.016>
- Fabbri A, Cevoli C, Romani S & Rosa M D. 2011. Numerical Model of Heat and Mass Transfer During Roasting Coffee Using 3D Digitised Geometry. *Procedia Food Science*, 1, 742–746. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.112>
- Fadhel M I, Sopian K, Daud W R W & Alghoul M A. 2011. Review on advanced of solar assisted chemical heat pump dryer for agriculture produce. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.10.007>
- Fernando A J, Amaratunga K S P & Madhushanka H T N. 2020. *Drying performance of coffee in a batch-type heat pump dryer*. 1–12.
- Food Safety and Preservation. 2018. In *Food Safety and Preservation*. <https://doi.org/10.1016/c2017-0-02229-2>
- Fudholi A, Sopian K, Ruslan M H, Alghoul M A & Sulaiman M Y. 2010. Review of Solar Dryers for Agricultural and Marine Products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1): 1–30. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.032>
- Hammer J, Thomas S, Weber P & Hommelhoff P. 2015. Microwave chip-based beam splitter for low-energy guided electrons. *Physical Review Letters*. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.114.254801>.
- Hidayat R, Ubaidillah F & Siswanto H. 2018. *OPTIMASI PROSES PENGERINGAN KOPI DENGAN MENGGUNAKAN MASN DRYER* Rusli Hidayat Jurusan Matematika FMIPA Universitas Jember Firdaus Ubaidillah Jurusan Matematika FMIPA Universitas Jember Hadi Siswanto Jurusan Matematika FMIPA Universitas Jember  
Keywords : O. 10(2):17–30.
- Kivevele T & Huan Z. 2014. A review on opportunities for the development of heat pump drying systems in South Africa. *South African Journal of Science*. <https://doi.org/10.1590/sajs.2014/20130236>.
- Kulapichitr F, Borompichaichartkul C, Suppavorasatit I & Cadwallader K R. 2019. Impact of drying process on chemical composition and key aroma components of Arabica coffee. *Food Chemistry*, 291(November 2018), 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.152>.
- Liu Y & Kitts D D. 2011. Confirmation that the Maillard reaction is the principle contributor to the antioxidant capacity of coffee brews. *Food Research International*, 44(8): 2418–2424. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.037>.

- Maeztu L, Sanz C, Andueza S, Pena M P, De Bello J & Cid C. 2001. Characterization of Espresso Coffee Aroma by Static Headspace GC-MS and Sensory Flavor Profile. *Agriculture Food Chemistry*, 49:5437–5444.
- Michopoulos A, Zachariadis T & Kyriakis N. 2013. Operation characteristics and experience of a ground source heat pump system with a vertical ground heat exchanger. *Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.11.042>
- Mulato Sri, S W & H L. 2001. Pelarut Kafein Biji Kopi Robusta dengan Kolom Tetap Menggunakan Pelarut Air. *Pelita Perkebunan*, 17(2): 97–109.
- Nebesny E, & Majda T. 2011. *HS-SPME/GC/MS Profiles of Convectively and Microwave Roasted Ivory Coast Robusta Coffee Brews*. 29(2): 151–160.
- Oghbaei M & Mirzaee O. 2010. Microwave versus conventional sintering: A review of fundamentals, advantages and applications. *Journal of Alloys and Compounds*. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.01.068>
- Olmos Villalba L C, Duque Grisales E A & Rodriguez E. 2017. State of The Art of Coffee Drying Technologies in Colombia and Their Global Development. *Espacios*, 38(29).
- Patel K K & Kar A. 2012. Heat pump assisted drying of agricultural produce - An overview. *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0334-z>
- Patil R & Gawande R. 2016. A review on Solar Tunnel Greenhouse Drying System. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56: 196–214. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.057>
- Prayitno SP, Guntoro S S U. 2019. Jenis Alat Dan Lama Pengeringan Terhadap Kualitas Mutu Pada Pembuatan Teh Cascara Kopi. *Seminar Nasional Hasil Pengabdian Masyarakat Dan Penelitian Pranata Laboratorium Pendidikan Politeknik Negeri Jember*, (1), 321–324.
- Purwanto E H, Rubiyono & Towaha J. 2015. Karakteristik mutu dan citarasa kopi robusta klon BP 42, BP 358 dan BP 308 asal Bali dan Lampung. *Sirinov*, 3(2):67–74.
- Sarbu I & Sebarchievici C. 2014. General review of ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings. *Energy and Buildings*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.068>
- Sharma A, Chen C R & Vu Lan N. 2009. Solar-Energy Drying Systems: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6–7): 1185–1210. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.08.015>
- Sontakke M S & Salve S P. 2012. Solar Drying Technologies: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5): 2652–2670. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.007>
- Wijayanti F & Hariyani S. 2019. Pengaruh Pengeringan Biji Kopi dengan Metode Rumah Kaca dan Penyinaran Sinar Matahari Terhadap Kadar Air Biji Kopi Robusta (Coffea Robusta). *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi* 2(1).
- Yani E & Fajrin S. 2013. Kecepatan Aliran Udara Pada Solar Dryer. *Teknik A*. 20(1):17–22.