

**LAPORAN AKHIR  
PENELITIAN WCR**



**Pemberdayaan Potensi Buah Andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* Dc.)  
sebagai Flavor Fungsional**

**Oleh:**

**Prof. Dr. C. Hanny Wijaya, MAgr. (NIDN: 0022046010)**

**Dr. Nancy Dewi Yuliana, M.Sc. (NIDN: 0027017003)**

**Dr. Dase Hunaefi, STP. (NIDN: 0006127902)**

**INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
NOVEMBER, 2022**

Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal.

**C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN:** Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

Indonesia memiliki sumber daya lokal yang sangat kaya untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku flavor fungsional. Andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) adalah salah satunya. Buah dari tanaman endemik asal Sumatera Utara ini sudah dimanfaatkan sebagai rempah pemberi citarasa pada makanan tradisional khas Batak dari generasi ke generasi. Aroma citrus dan sensasi trigeminal yang menyebabkan lidah terasa bergetar dan kebas menjadikan andaliman sebagai rempah yang wajib untuk digunakan pada beberapa hidangan adat. Di samping citarasanya yang khas, penelitian terbatas menunjukkan andaliman juga memiliki bioaktivitas yang bermanfaat bagi kesehatan. Sangat disayangkan pemanfaatan andaliman sebagai flavor fungsional masih sangat terbatas. Karakteristik fisik buah segar andaliman yang tinggi akan kadar air menyebabkan komoditas ini mudah sekali mengalami pembusukan. Minimnya informasi mengenai karakteristik senyawa citarasa pada andaliman juga menjadi kendala pemahaman khalayak umum pada keunggulan sensori buah andaliman ini. Oleh karena itu, dibutuhkan pemahaman cara pengolahan atau penanganan pascapanen yang tepat dan pemahaman kandungan senyawa-senyawa kunci yang berkontribusi sehingga kualitas citarasa andaliman dan aktivitasnya terjamin agar andaliman dapat bersaing dengan kerabatnya di manca negara yang telah diberdayakan sebagai ingredien flavor fungsional.

Pada tahun ke-1 telah diperoleh andaliman kering hasil berbagai cara pengeringan serta dampak proses pengeringan terhadap senyawa-senyawa citarasa andaliman melalui analisis GC-MS secara simultan untuk komponen aroma dan sensasi trigeminal. Pada kegiatan penelitian tahun kedua ini merupakan kelanjutan dari kegiatan penelitian tahun ke-1, telah dilakukan optimasi dan karakterisasi andaliman dari beberapa hasil pengolahan, dalam bentuk andaliman kering, ekstrak andaliman dan andaliman yang terenkapsulasi dalam rangka menyiapkan andaliman sebagai bahan flavor fungsional serta pengujian awal aktifitas fisiologisnya.

### **Kegiatan Penelitian Tahun I**

Kegiatan penelitian tahun ke-1 yang dilakukan untuk penyiapan enkapsulasi andaliman dalam rangka menyiapkan andaliman sebagai bahan flavor fungsional, diawali dengan persiapan sampel kering andaliman hasil berbagai cara pengeringan dan dianalisis secara kuantitatif untuk melihat bagaimana dampak pengolahan terhadap senyawa-senyawa citarasa andaliman. Andaliman adalah salah satu rempah Indonesia yang sangat mudah rusak dengan aroma seperti jeruk yang unik namun tidak stabil dan sensasi trigeminal. Pengeringan merupakan cara sederhana untuk memperpanjang umur simpan andaliman; namun, telah dilaporkan bahwa setiap metode pengeringan akan menghasilkan profil sensorik yang berbeda. Studi tentang pengaruh pengeringan terhadap profil andaliman terhadap volatil, senyawa mati rasa, dan aroma masih cukup terbatas. Oleh karena itu pada awal penelitian dilakukan evaluasi dampak pengeringan terhadap senyawa volatil dan sensasi trigeminal dalam andaliman (*Z. acanthopodium*).

### **Hasil Pengeringan Andaliman dan Model Kinetik Pengeringan**

Setelah andaliman tiba dari Medan, buah-buahan dipindahkan ke dalam kotak plastik dan disimpan di lemari es untuk memperlambat proses degradasi. Buah hijau dipisahkan dengan hati-hati dari ranting dan buah merah dengan gunting, dicuci tiga kali untuk menghilangkan kotoran, dan dikeringkan di ruangan ber-AC selama 2 jam untuk menghilangkan kelebihan air. Kemudian, andaliman dikeringkan dengan beberapa metode pengeringan, yaitu *sun drying* (SD), *sunshade drying* (SSD), *shade drying* (SHD), *oven drying* (OD), dan *freeze drying* (FD). Hasil masing-masing proses pengeringan dibandingkan dengan buah andaliman segar dapat dilihat pada Gambar 1. Setelah proses pengeringan selesai, kulit buah andaliman menyusut, menghasilkan biji hitam mengkilat, dan warna kulit buah menjadi coklat kehitaman. Pengeringan beku dapat mempertahankan warna produk paling hijau dibandingkan dengan proses pengeringan lainnya karena suhu rendah selama proses pengeringan.



Gambar 1. Hasil proses pengeringan; Andaliman segar - FA (a), sun-drying - SD (b), sunshade drying - SSD (c), shade drying - SHD (d), oven drying – OD (e), freeze drying - FD (f)

Rasio kelembaban (MR) kemudian diplot terhadap waktu untuk mengamati perubahan kelembaban selama proses pengeringan serta untuk menemukan model pengeringan yang paling dapat menggambarkan laju metode pengeringan cepat kering (OD) dan metode pengeringan lambat (SD, SSD, dan SHD). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, pengeringan oven (OD) merupakan metode pengeringan tercepat dari semua metode pengeringan yang digunakan karena suhu dan aliran udara yang lebih tinggi. Selama SD dan SSD, MR andaliman mengalami penurunan paling signifikan pada 24 jam pertama proses pengeringan karena sebagian besar air bebas diuapkan. Pada malam hari, MR SD dan SSD relatif konstan bahkan dapat meningkat karena penyerapan air dari udara sekitar. SHD merupakan metode pengeringan yang paling lambat dari semua metode pengeringan karena suhu rendah yang digunakan selama proses. Kelembaban relatif yang rendah adalah satu-satunya pendorong utama penghilangan air selama proses pengeringan, dan setelah 48 jam, penurunan MR hanya sedikit. Berdasarkan percobaan sebelumnya, ada penurunan berat yang dapat diabaikan setelah 96 jam. Secara umum, model logaritma dapat lebih menggambarkan kinetika pengeringan andaliman dengan berbagai teknik pengeringan, seperti terlihat pada Tabel 1 dengan nilai R<sup>2</sup> tertinggi >0,99 untuk semua metode pengeringan. Sebaliknya, model Weibull tidak berhasil menggambarkan kinetika pengeringan andaliman.

Tabel 1 Karakteristik fisik berbagai andaliman kering.

Parameter	FA	SD	SSD	SHD	OD	FD
Drying time (h)	-	54	54	96	8	41
Yield (%)	-	24.7 ± 3.7	26.2 ± 2.9	28.0 ± 1.3	26.4 ± 1.8	25.1 ± 3.4
Moisture (%)	77.62 ± 1.82 <sup>c</sup>	10.09 ± 0.90 <sup>a</sup>	13.46 ± 0.16 <sup>ab</sup>	15.91 ± 1.07 <sup>b</sup>	12.57 ± 0.32 <sup>ab</sup>	10.45 ± 4.74 <sup>ab</sup>
Aw	0.90 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.33 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.47 ± 0.05 <sup>ab</sup>	0.58 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.44 ± 0.11 <sup>ab</sup>	0.33 ± 0.17 <sup>a</sup>
L*	24.97 ± 2.07	25.18 ± 2.38	25.71 ± 1.54	25.93 ± 1.64	24.72 ± 2.77	29.26 ± 2.57
a*	-3.81 ± 0.45 <sup>a</sup>	1.01 ± 1.01 <sup>b</sup>	0.23 ± 0.52 <sup>b</sup>	-0.12 ± 1.25 <sup>b</sup>	-0.57 ± 1.09 <sup>b</sup>	-1.00 ± 0.42 <sup>b</sup>
b*	20.38 ± 0.43 <sup>b</sup>	14.74 ± 1.38 <sup>a</sup>	15.21 ± 1.24 <sup>a</sup>	15.32 ± 0.71 <sup>a</sup>	15.35 ± 1.54 <sup>a</sup>	19.38 ± 1.14 <sup>b</sup>

Keterangan: a, b, c, – means sharing similar letters were not significantly different at a 95% confidence interval. Fresh andaliman-FA, sun-drying-SD, sunshade drying-SSD, shade drying-SHD, oven drying-OD, freeze-drying-FD.

### Karakteristik Fisik

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1, tidak ada perbedaan signifikan yang diamati pada hasil dari berbagai proses pengeringan, berbeda dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan hasil terendah diperoleh dari OD (Napitupulu *et al.* 2020). Tidak adanya perbedaan yang signifikan antara rendemen setiap proses pengeringan disebabkan karena telah dilakukan optimasi pengeringan andaliman untuk mendapatkan rendemen yang sama dengan OD (Napitupulu *et al.* 2020).

LOD dari semua andaliman kering lebih tinggi dari 10% karena banyaknya minyak atsiri dalam sampel asli yang hilang karena penguapan, karena selama pengukuran LOD, baik sisa air maupun volatil diuapkan. Namun, semua metode pengeringan menghasilkan nilai LOD kurang dari 17,90%, menunjukkan target pengeringan telah tercapai (Charoensup *et al.* 2016). Selain itu, hubungan antara hasil, LOD, dan aktivitas air dapat disimpulkan. Misalnya, SHD menghasilkan rendemen, LOD, dan Aw tertinggi, sedangkan SD dan FD menghasilkan rendemen, LOD, dan Aw terendah.

Semua metode pengeringan berhasil menurunkan aktivitas air hingga kurang dari 0,60, namun, SHD hanya mengurangi aktivitas air menjadi 0,585, yang sangat dekat dengan 0,60. Aktivitas air yang tinggi ini dapat berisiko berkembang biaknya jamur, terutama jika disimpan dengan tidak benar. Oleh karena itu, metode pengeringan ini tidak boleh digunakan secara komersial tanpa memodifikasi lebih lanjut parameter pengeringan untuk mengurangi aktivitas air menjadi kurang dari 0,60. Selain itu, keberhasilan SD dan SSD sangat bergantung pada kondisi cuaca selama proses pengeringan. Cuaca mendung atau hujan yang singkat akan menghambat proses pengeringan, membutuhkan lebih banyak waktu untuk menyelesaikan atau merusak keseluruhan proses pengeringan, seperti yang dialami oleh penulis.

Penurunan warna hijau andaliman menjadi hitam-cokelat dapat disebabkan oleh pencoklatan enzimatis karena polifenol oksidase (Karnady 2015) atau oleh degradasi klorofil karena klorofilase dan peroksidase pendegradasi klorofil (Chen *et al.* 2012). Degradasi warna hijau ini ditunjukkan dengan peningkatan yang signifikan pada nilai  $a^*$  semua andaliman kering dibandingkan dengan yang segar, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Namun, tidak ada perbedaan yang signifikan dalam nilai  $a^*$  antara semua sampel kering. Fenomena ini menunjukkan bahwa semua metode pengeringan yang digunakan dalam penelitian ini menghasilkan buah andaliman kering dengan tingkat kehijauan yang sama.

Selain itu, seperti dapat dilihat pada Tabel 1, tidak ada perbedaan yang signifikan dalam nilai  $b^*$  andaliman segar dan beku-kering. Hasil ini menunjukkan bahwa di antara semua metode pengeringan yang digunakan dalam penelitian ini, metode pengeringan beku menghasilkan andaliman kering dengan warna yang paling mirip dengan andaliman segar, terutama pada derajat warna kuning.

### Profil Senyawa Volatil Andaliman

Sebanyak 67 puncak terdeteksi pada analisis GC-MS dari semua sampel; namun, hanya 42 puncak yang berhasil diidentifikasi sementara, dan 29 di antaranya berasal dari keluarga terpenoid, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan Tabel 2. Limonen, diikuti oleh geranyl asetat, adalah senyawa utama yang terdeteksi di andaliman. Namun, penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa *geranyl acetate*, diikuti oleh limonen, merupakan volatil utama dalam andaliman segar (Wijaya *et al.* 2001). Perbedaan proporsi volatil ini dapat disebabkan oleh maserasi yang lebih lama yang cenderung meningkatkan limonen yang diekstraksi dari buah andaliman (Meutia *et al.* 2015). Limonen telah dilaporkan sebagai salah satu volatil utama dari buah Lada Jepang *Zanthoxylum piperitum* (Jiang & Kubota 2004), *Chinese Zanthoxylum piperitum* (Chang & Kim 2008), dan *Chinese Zanthoxylum bungeanum* (X. Yang 2008), sedangkan geranyl asetat juga telah dilaporkan sebagai salah satu senyawa aroma utama *Z. piperitum* (Chang & Kim 2008; Jiang & Kubota 2004), menunjukkan bahwa andaliman mungkin memiliki profil aromatik yang mirip dengan Lada Jepang. Selain itu, linalool dilaporkan sebagai aroma utama *Zanthoxylum schinifolium* Cina (X. Yang 2008), sedangkan sabinen dilaporkan sebagai senyawa aroma utama *Z. myriacanthum* dari Thailand (Sriwichai *et al.* 2019); Namun, kedua senyawa tersebut tidak ditemukan sebagai volatil utama andaliman.

Menariknya, andaliman segar dan kering memiliki profil kromatogram yang sangat mirip, perbedaan utama pada area puncak masing-masing senyawa. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2, SD dan SSD memiliki kandungan volatil yang paling rendah, sedangkan FA, SHD, OD, dan FD memiliki kandungan volatil yang lebih tinggi. Tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada kandungan total volatil, yang dapat disebabkan oleh kenaikan dan penurunan konsentrasi volatil tertentu pada saat pengeringan, sehingga menghasilkan kandungan total yang relatif sama tetapi berbeda proporsinya.

Andaliman segar mengandung (E)-2-heksenal, yang berkontribusi terhadap bau segar, hijau, berdaun (Burdock 2010). Pengeringan menyebabkan (E)-2-heksenal hilang, sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan hilangnya (E)-2-heksenal pada pengeringan paprika (Luning *et al.* 1995). Proses pengeringan juga secara signifikan mengurangi volatil tertentu seperti  $\alpha$ -pinen, sabinen, dan  $\beta$ -myrcen.

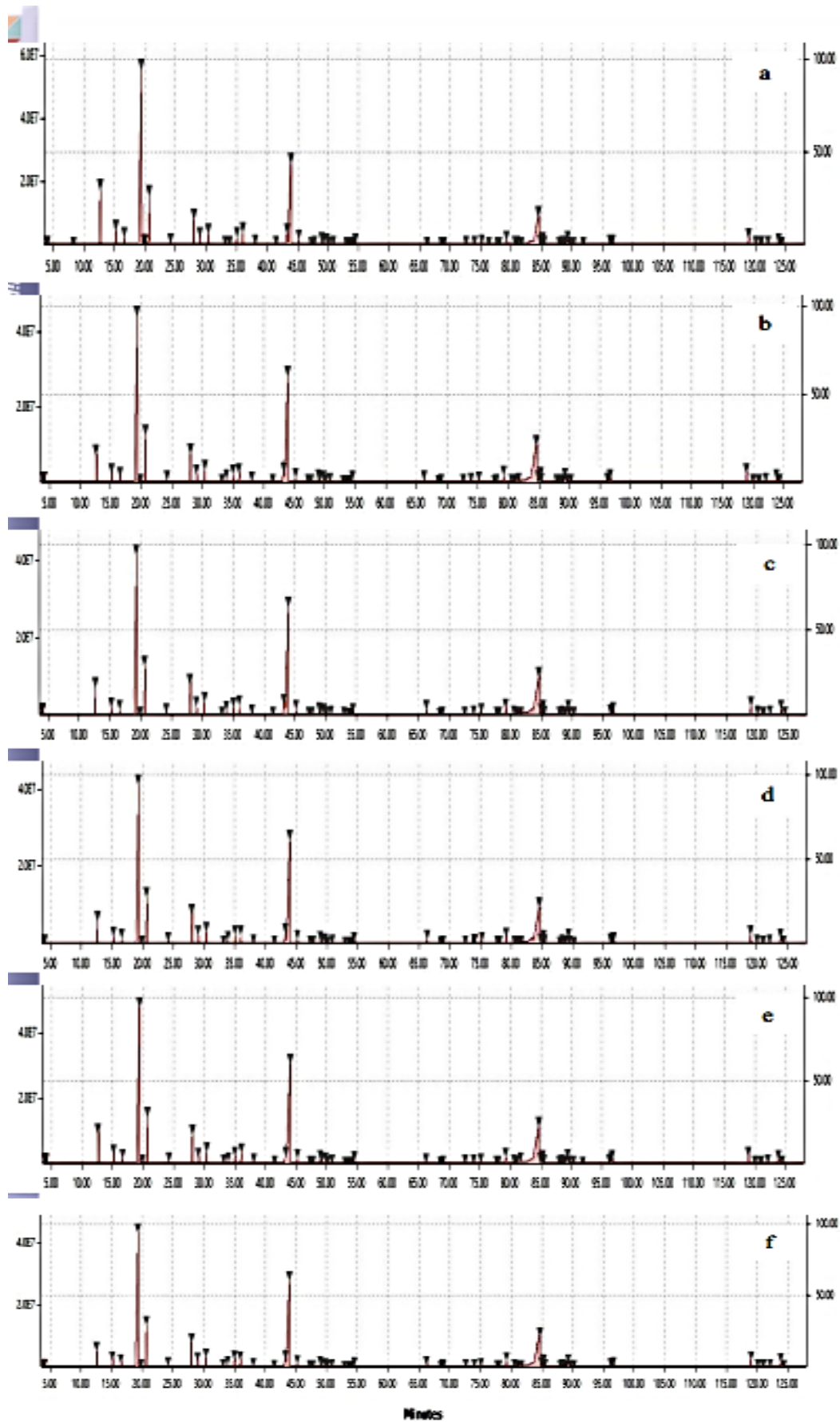
FA memiliki kandungan limonen tertinggi, sedangkan semua sampel memiliki kandungan limonen yang lebih rendah, menjelaskan penurunan intensitas jeruk yang terdeteksi selama analisis sensorik. Pengurangan ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa proses pengeringan mengurangi kandungan limonen dalam Lada Jepang (*Z. piperitum*) (Jiang & Kubota 2004). Namun kandungan linalool, geraniol, dan (Z)- $\beta$ -ocimen cenderung tetap. Di sisi lain, kandungan  $\beta$ -myrcen menurun secara signifikan, dengan FD memiliki kandungan  $\beta$ -myrcen terendah. Kandungan linalool dan  $\beta$ -myrcen tetap sama pada pengeringan daun jeruk purut menggunakan oven pada suhu 50 °C tetapi menurun secara signifikan pada pengeringan daun pada suhu 60 dan 70 °C (Jirapakkul *et al.* 2013), menunjukkan bahwa andaliman sebaiknya tidak dikeringkan pada suhu tinggi.

Kandungan geranial cenderung menurun sedangkan kandungan neral cenderung meningkat pada saat pengeringan. Geranial adalah trans-isomer dari citral, yang diisomerisasi menjadi cis-isomernya (neral) ketika dikatalisis oleh asam amino, seperti glisin, untuk mencapai rasio keseimbangan geranial:neral 6:4 (Wolken *et al.* 2000). Isomerisasi ini diperkirakan terjadi selama proses pengeringan, menyebabkan peningkatan kandungan neral sekaligus menurunkan kandungan geranial dan mengubah rasio geranial:neral dari 9:1 pada andaliman segar menjadi sekitar 7:3 pada andaliman kering.

Kandungan geranil asetat dan sitronelal pada andaliman kering lebih tinggi dibandingkan dengan andaliman segar. Peningkatan volatil spesifik sebelumnya telah dilaporkan pada produk kering lainnya seperti kulit anggur dan daun jeruk purut (de Torres *et al.* 2010; Jirapakkul *et al.* 2013). Peningkatan ini cukup menarik karena pengeringan cenderung menurunkan kandungan volatil selama penguapan air. Dua hipotesis telah diajukan sebagai penjelasan yang mungkin. Ekstraksi yang lebih baik dapat terjadi pada produk kering karena penghancuran sel dan organel yang mengandung volatil, sehingga meningkatkan volatil yang diekstraksi dalam proses tersebut (de Torres *et al.* 2010). Sebuah studi tentang ekstraksi lipid biomassa juga telah melaporkan bahwa kelembaban akan menurunkan efisiensi ekstraksi lipid dengan pelarut nonpolar seperti heksana, namun, tidak ada perbedaan yang diamati ketika pelarut polar seperti metanol digunakan. Berkurangnya kontak antara pelarut hidrofobik dan bahan yang terdistribusi dalam fase air menurunkan efisiensi ekstraksi pelarut (Malekzadeh *et al.* 2016).

Selain itu, peningkatan volatil tertentu mungkin disebabkan oleh pelepasan volatil terikat selama proses pengeringan karena volatil ada dalam bentuk bebas atau terikat pada molekul lain seperti gula membentuk glikosida (Liu *et al.* 2017). Aktivitas aromanya hanya akan ada ketika glikosida dihidrolisis, baik oleh enzim maupun asam (Hjelmeland & Ebeler 2015). Fenomena ini terlihat pada daun Lada Jepang (*Z. piperitum*) dimana volatilnya terikat pada gula membentuk glikosida (Kojima *et al.* 1997). Hidrolisis enzimatis menggunakan enzim asli di dalam daun melepaskan volatil dari fraksi glikosida daun Lada Jepang. Oleh karena itu, didalilkan bahwa penghancuran sel selama proses pengeringan melepaskan enzim di dalam sel yang menghidrolisis volatil yang terikat secara glikosida. Secara bersamaan, pengurangan air juga dapat meningkatkan keasaman, sehingga menghidrolisis volatil yang terikat secara glikosida dan membebaskan aglikon (de Torres *et al.* 2010).

PCA dilakukan dengan cara mengetahui kandungan relatif senyawa yang teridentifikasi pada semua sampel andaliman. Seperti ditunjukkan pada Gambar 3a, 72,35% variasi data dapat dijelaskan oleh PCA (PC1: 47,60% dan PC2: 24,74%). FA dipisahkan dari sampel lainnya; sama, OD dipisahkan dari sampel lain. Pengelompokan SD dan SSD, serta SHD dan FD, juga bisa dilihat. Pengeringan dengan radiasi UV menghasilkan profil volatil yang sama, sedangkan pengeringan tanpa panas akan menghasilkan profil yang sama. OD menghasilkan profil yang sangat berbeda dari metode lain karena durasinya yang paling singkat. Hasil ini bertentangan dengan penelitian sebelumnya pada *Z. myriacanthum* yang mengelompok SD, OD, dan buah segarnya, yang menunjukkan bahwa mereka memiliki profil volatil yang sama (Sriwichai *et al.* 2019), yang dapat disebabkan oleh panas dalam proses distilasi. mengubah profil volatil dari *Z. myriacanthum* segar. Berdasarkan penelitian ini, tidak ada metode pengeringan yang menghasilkan profil volatil yang sama dengan andaliman segar.



Gambar 2. Kromatogram GC-MS sampel andaliman (a) Fresh (b) Sun Drying (c) Sunshade Drying (d) Shade Drying (e) Oven Drying (f) Freeze Drying

Tabel 2 Kandungan senyawa volatil andalimanteridentifikasi (mean from 2 replicate, µg/g dwb).

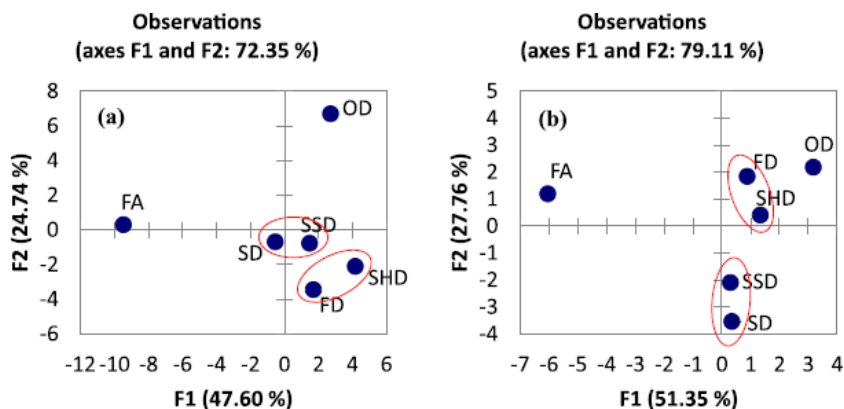
No	Compound	CRI <sup>a</sup>	Odor <sup>b</sup>	FA	SD	SSD	SHD	OD	FD
<b>Total relative content of identified compounds</b>				63,969	56,429	57,805	64,723	65,873	61,764
<b>Acetal</b>									
1	1,1-diethoxyethane	less than 800	Nutty	90	39	43	40	62	41
<b>Aldehyde</b>									
2	(E)-2-hexenal	848	Green	31	nd	nd	nd	nd	Nd
<b>Ester</b>									
19	(E)-methyl cinnamate	1381	Balsamic	1056	1087	1087	1293	935	1176
34	Methyl ferulate	1830	-	37	31	32	36	28	32
40	Ethyl palmitate	1992	Waxy	31	nd	nd	nd	nd	nd
<b>Monoterpene alcohol</b>									
9	Linalool	1098	Floral	175	158	165	157	187	163
12	α-terpineol	1186	Terpenic	697	542	583	788	740	665
13	β-citronellol	1228	Floral	79	45	52	54	84	67
15	Geraniol	1255	Floral	652	680	711	685	642	695
<b>Monoterpene aldehyde</b>									
10	Citronellal	1153	Floral	1583	1616	1757	1783	2127	1841
14	Neral	1238	Citrus	64	195	238	294	247	245
16	Geranial	1269	Citrus	755	453	479	562	678	509
<b>Monoterpene ester</b>									
17	Geranyl formate	1300	Floral	107	113	118	146	155	132
18	Citronellyl acetate	1353	Floral	54	70	81	86	86	87
20	Geranyl acetate	1392	Floral	13,149	15,302	15,346	17,532	17,118	16,834
<b>Monoterpene hydrocarbon</b>									
3	α-pinene*	928	Herbal	2827	1194	984	847	1338	713
4	Sabinene*	968	Woody	759	382	370	475	538	411
5	β-myrcene*	989	Spicy	508	336	321	330	391	274
6	Limonene	1030	Citrus	28,093	19,299	19,510	20,544	21,857	19,523
7	(Z)-β-ocimene	1037	Floral	70	54	55	61	70	68
8	(E)-β-ocimene	1049	Sweet herbal	2426	2069	2041	2299	2690	2600
<b>Sesquiterpene</b>									
21	β-caryophyllene	1412	Spicy	418	426	432	387	403	323
22	α-caryophyllene	1445	Woody	59	64	64	60	69	51
23	(E)-β-farnesene	1455	Woody	60	73	75	74	80	69
24	Germacrene D	1473	Woody	263	286	295	282	318	249
25	β-selinene	1477	Herbal	126	134	137	130	146	110
27	(Z,E)-α-farnesene	1493	Woody	41	58	58	51	56	43
26	α-selinene	1487	Spicy	203	209	216	205	234	177
28	(E,E)-α-farnesene	1505	Woody	72	91	93	104	110	97
35	Neophytadiene	1836	odorless	42	42	58	110	39	104
<b>Sesquiterpene alcohol</b>									
31	(E)-Nerolidol	1560	Floral	26	32	35	41	39	35
32	Germacrene D-4-ol	1567		195	230	235	247	266	231
<b>Sesquiterpene ester</b>									
36	(2E,6E)-farnesyl acetate	1838	Oily	55	75	79	85	86	78
<b>Diterpene alcohol</b>									
46	(E)-phytol	2108	Floral	9	82	44	24	189	26
<b>Secondary amides</b>									
47	α-sanshool	2175	-	6880	7995	8531	10,765	10,464	10,721
55	hydrxy α-sanshool	2286	-	645	550	607	823	773	798
<b>Alkaloids</b>									
33	N,N-Dimethyl-tryptamine	1785	-	78	282	524	451	311	340
<b>Phytosterol</b>									
65	Campesterol	3189	-	67	83	116	156	98	126
66	Stigmasterol	3224	-	48	98	112	161	115	143
67	β-Sitosterol*	3283	-	239	379	436	585	375	527
<b>Carboxylic acid</b>									
39	Palmitic acid	1966	Waxy	289	327	417	512	322	268
<b>Lignan</b>									
62	Episesamin	3121	-	505	787	785	959	931	702

a CRI: Calculated Retention Indices based on HP-5MS capillary column using C7-C40 alkane standard.

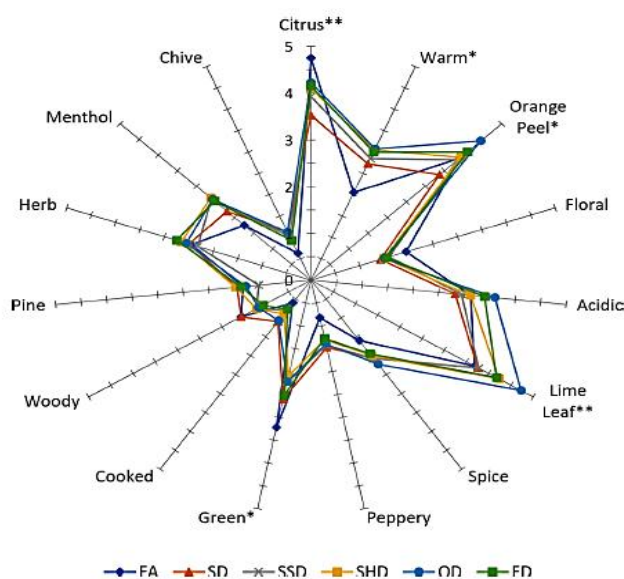
b Odor quality based on literature (Miyazawa et al., 2016; Moon, Cliff, & Li-Chan, 2006; Seo & Baek, 2005; The Good Scents Company, 2019).

\* Significantly different at  $\alpha = 0.05$ . nd = not detected, dwb = dry weight basis, FA = fresh andaliman, SD = sun-drying, SSD = sunshade drying, SHD = shade drying, OD = oven drying, FD = freeze-drying.





Gambar. 3. Skor plot PCA andaliman: data GC-MS (a) dan data sensory (b).



Gambar 4. Profil aroma andaliman segar dan kering: 0 (tidak ada), 1 (sangat lemah) sampai 6 (sangat kuat). \* : nilai  $p < 0.1$ , \*\* : nilai  $p < 0.05$ . Fresh andaliman-FA, sun-drying-SD, sunshade drying-SSD, shade drying-SHD, oven drying-OD, freeze-drying-FD.

### Analisis Sensori

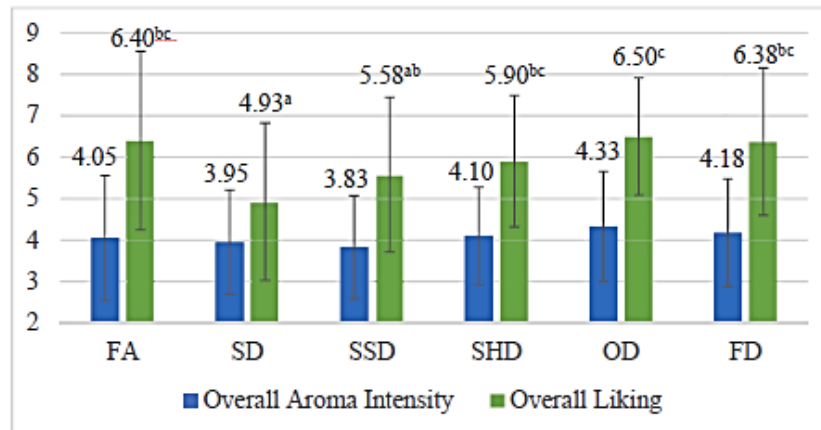
Profil aroma masing-masing andaliman dapat digambarkan dengan diagram laba-laba yang ditunjukkan pada Gambar 4. Aroma *citrus*, *orange peel*, dan *lime leaf* paling baik menggambarkan aroma andaliman secara keseluruhan yang menunjukkan bahwa atribut jenis *citrus* mendominasi aroma andaliman yang mirip dengan Lada Jepang (Jiang & Kubota 2004). FA memiliki intensitas aroma *citrus* tertinggi, sebaliknya, SD memiliki intensitas *citrus* terendah, yang dapat dijelaskan oleh kandungan limonen tertinggi di FA dan degradasi limonen akibat sinar matahari di andaliman yang dikeringkan di bawah sinar matahari. OD dan FD serupa dalam aroma *citrus*, meskipun lebih rendah dari FA. Temuan ini serupa dengan penelitian sebelumnya bahwa pengeringan cenderung menurunkan intensitas aroma *citrus* dari Lada Jepang (Jiang & Kubota 2004).

Menariknya, OD menghasilkan intensitas aroma *orange peel* dan *lime leaf* yang paling tinggi, mungkin karena kandungan sitronelalnya yang tinggi. Penggunaan kerai berhasil meningkatkan aroma *citrus* dan *orange leaf* dibandingkan dengan penjemuran tanpa kerai. FA memiliki aroma hangat terendah sedangkan *green aroma* tertinggi dari semua andaliman kering. Intensitas *green aroma* yang tinggi dapat dikaitkan dengan (E)-2-heksanal di FA. Secara keseluruhan, terlihat bahwa OD menghasilkan intensitas tertinggi pada sebagian besar atribut dibandingkan dengan metode pengeringan lainnya.

Ketika intensitas aroma keseluruhan dievaluasi, tidak ada perbedaan yang signifikan (nilai  $p$  0,613) yang diamati, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Kurangnya signifikansi ini dapat dijelaskan oleh kandungan volatil total yang sama dari semua sampel andaliman. Peningkatan sitronelal dan penurunan kandungan limonen pada andaliman kering juga dapat menyebabkan kesamaan intensitas aroma secara keseluruhan antara andaliman



segar dan kering karena keduanya merupakan senyawa aroma kunci andaliman yang berkontribusi besar terhadap aroma andaliman secara keseluruhan. Meskipun OD memiliki atribut aroma *orange peel* dan *lime leaf* yang paling tinggi, OD memiliki intensitas aroma *citrus* dan *green* yang lebih rendah. Variasi intensitas masing-masing atribut aroma ini mungkin juga menyebabkan kesamaan intensitas aroma secara keseluruhan. Namun, OD menghasilkan penerimaan tertinggi dengan skor 6,50, mirip dengan FA dan FD, dengan skor masing-masing 6,40 dan 6,38, sesuai dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan OD dan FD menghasilkan andaliman kering yang paling diterima (Napitupulu *et al.* 2020).



Gambar 5. Intensitas aroma overall (6 skala) and kesukaan overall (9 skala) sampel andaliman dari tes RATA-Hedonic. a, b, c : mean sharing similar letters were not significantly different at a 95% confidence interval based on the Duncan posthoc test. fresh andaliman-FA, sun-drying-SD, sunshade drying-SSD, shade drying-SHD, oven drying-OD, freeze-drying-FD.

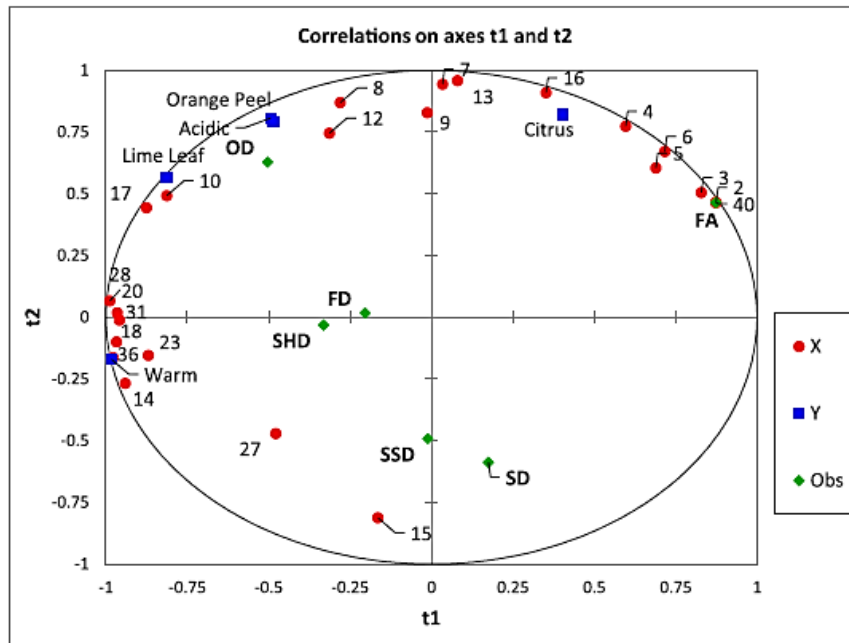
Untuk lebih memvisualisasikan variasi intensitas aroma andaliman, dilakukan PCA tanpa pengawasan dengan menggunakan skor rata-rata masing-masing intensitas aroma dari setiap sampel. Seperti ditunjukkan pada Gambar. 3b, dua komponen utama menjelaskan 79,11% dari total varians (PC1: 51,35%; PC2: 27,76%). FA dipisahkan dari sampel lain, menunjukkan bahwa tidak ada teknik pengeringan yang menghasilkan profil sensori yang sama dari andaliman segar, yang sesuai dengan plot PCA kandungan volatil. Secara keseluruhan, PCA berhasil menghasilkan pemisahan dan pengelompokan sampel andaliman yang jelas. Hasil ini sesuai dengan PCA volatil yang mengelompokkan SD dan SSD sedangkan mengelompokkan FD dan SHD. PCA intensitas aroma juga memisahkan OD dan FA dari perlakuan lainnya. Meskipun tidak ada andaliman kering yang memiliki profil aroma yang mirip dengan andaliman segar, OD berhasil menghasilkan produk dengan skor kesukaan tinggi, mirip dengan FA dan FD, dengan metode pengeringan yang relatif mahal.

Pemisahan sampel oleh PCA ini bertentangan dengan penelitian lain yang melaporkan bahwa minyak atsiri dari berbagai *Z. myriacanthum* yang dikeringkan tidak dapat dibedakan dengan analisis deskriptif sensori (Sriwichai *et al.* 2019). Kontradiksi ini dapat disebabkan oleh sampel yang berbeda dalam penelitian sebelumnya, yang menggunakan minyak atsiri yang diekstraksi dari sampel segar dan kering. Di sisi lain, penelitian ini menggunakan sampel andaliman yang tidak berubah. Proses ekstraksi dapat menghasilkan perbedaan yang lebih kecil di antara sampel akibat panas tinggi dalam ekstraksi karena dilaporkan bahwa distilasi vakum andaliman menghasilkan aroma yang berbeda dari andaliman segar (Wijaya *et al.* 2001).

Analisis korelasi pearson dilakukan antara intensitas aroma dan skor kesukaan secara keseluruhan untuk menentukan atribut yang disukai yang dapat mendorong skor kesukaan. Ditemukan bahwa tiga atribut yaitu *citrus*, *orange peel*, dan asam merupakan atribut yang disukai yang ditunjukkan oleh korelasi yang signifikan antara intensitas dan skor kesukaan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Ketiga atribut tersebut ditentukan sebagai faktor yang paling menentukan kualitas aroma andaliman; Oleh karena itu, penyelidikan lebih lanjut dilakukan untuk mengidentifikasi volatil yang berkontribusi signifikan pada setiap atribut.

### Hubungan antara volatil dan karakteristik sensori

*Analysis Partial Least Square Regression* (PLSR) adalah salah satu alat yang paling banyak digunakan untuk menganalisis hubungan antara kemometrik dan data sensorik. Setelah serangkaian pengurangan variabel yang disebutkan sebelumnya, 23 volatil dan 5 atribut sensorik dimasukkan dalam analisis PLSR. Analisis dilakukan berdasarkan dua komponen utama yang menghasilkan biplot yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Biplot analisis PLSR: Intensitas volatil (X) dan sensori (Y).

Aroma *citrus* berkorelasi nyata dengan sabinen, limonen, (Z)- $\beta$ -ocimene,  $\beta$ -citronellol, dan geranial (*p*-value kurang dari 0,05). Semua senyawa tersebut, kecuali sabinen, telah tersampaikan sebagai senyawa aktif aroma andaliman (Wijaya *et al.* 2001). *Citrus* merupakan aroma utama limonen dan geranial, yang menjelaskan korelasinya dengan atribut *citrus*. Limonen juga dilaporkan sebagai konstituen aroma utama (>90%) *orange peel oil* (Burdock 2010). Sabinen tidak terdeteksi pada penelitian aroma andaliman sebelumnya (Wijaya *et al.* 2001), tetapi selama penelitian ini berkorelasi dengan aroma *citrus* andaliman. *Woody* adalah aroma dominan sabinen, namun, itu juga bisa digambarkan sebagai *spicy*, *citrus*, dan *terpenic* (The Good Scents Company 2019). Aroma Z- $\beta$ -ocimene telah digambarkan sebagai *floral* dan *sweet* (The Good Scents Company 2019), namun, senyawa ini telah digambarkan sebagai *citrus* dan *sweet* (Wijaya *et al.* 2001). Secara keseluruhan, semua senyawa berkorelasi memiliki jenis aroma *citrus*, menjelaskan hubungannya dengan aroma *citrus*.

Aroma *orange peel* berkorelasi kuat dengan (E)- $\beta$ -ocimene (*sweet herbal*) dan sitronelal (*floral*, *sweet*, dan *citrus*), pada saat yang sama, aroma asam berkorelasi dengan (Z)- $\beta$ -ocimene, (E)- $\beta$ -ocimene, dan sitronellal (The Good Scents Company 2019). Sitronelal dilaporkan sebagai senyawa aroma utama andaliman yang menimbulkan aroma *citrus* yang kuat dengan analisis GC-O (Wijaya *et al.* 2001) dan aroma lemon yang kuat (Burdock 2010). Oleh karena itu, kombinasi ini dapat dianggap sebagai *orange peel* dan asam.

Karena aroma *citrus*, *orange peel*, dan asam telah ditentukan sebagai atribut aroma yang disukai, penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan tinggi sabinen, limonen,  $\beta$ -citronellol, geranial, (Z)- $\beta$ -ocimene, (E)- $\beta$ -ocimene, dan sitronelal mungkin diperlukan untuk mendapatkan produk andaliman kering yang sangat baik berdasarkan profil aromanya karena ditemukan berkorelasi signifikan dengan atribut yang disukai. Temuan ini dapat menyederhanakan pemilihan varietas andaliman lain dan metode pengolahan baru berdasarkan analisis yang ditargetkan dari tujuh volatil yang ditentukan. Menariknya, geranil asetat, volatil terbesar kedua di andaliman, tidak ditemukan berkorelasi dengan atribut yang menguntungkan, yang menunjukkan bahwa penerimaan aroma andaliman tidak hanya ditentukan oleh senyawa aroma utama.

Aroma hangat dikaitkan dengan berbagai volatil seperti neral (*citrus*), sitronelil asetat (*floral*), geranil asetat (*floral*), (E)- $\beta$ -farnesene (*woody*), (E,E)- $\alpha$ -farnesene (*woody*), nerolidol (*floral*), (2E,6E)-farnesyl acetate (*oily*) (The Good Scents Company 2019). Tak satu pun dari volatil individu memiliki jenis aroma yang hangat, namun, mungkin memberikan sensasi tipe hangat kepada panelis ketika senyawa tersebut digabungkan.

Aroma *lime leaf* juga berkorelasi dengan sitronelal (*citrus*), geranil format (*floral*, *green aroma*), (E,E)- $\alpha$ -farnesene (*woody*, *green aroma*). Selanjutnya, sitronelal ditemukan sebagai aroma utama daun jeruk purut yang menghasilkan aroma *citrus* dan *kaffir lime-like* yang intens dengan analisis GC-O (Jirapakkul *et al.* 2013). Oleh karena itu, dapat dihipotesiskan bahwa kombinasi aroma *citrus*, *floral*, dan *woody* yang intens dapat dikaitkan dengan aroma *lime leaf* andaliman.

Dari sepuluh aroma andaliman kuat yang dilaporkan sebelumnya,  $\beta$ -myrcene, linalool, dan geraniol tidak berkorelasi dengan atribut sensorik apa pun dalam penelitian ini. Kurangnya korelasi ini mungkin disebabkan oleh kesamaan kandungan ketiga volatil tersebut di antara semua sampel andaliman. Dengan demikian, setiap metode pengeringan secara substansial mengubah penampakan andaliman, karakteristik fisik, komposisi volatil, dan

atribut sensorik. Limonen, diikuti oleh geranil asetat, adalah dua volatil utama yang terdeteksi pada andaliman. Pengerinan cenderung menurunkan kandungan volatil spesifik seperti limonen, (E)-2-hexenal, geranial, sabinen,  $\alpha$ -pinene,  $\beta$ -myrcene, serta intensitas aroma *citrus* dan *green*. Pada saat yang sama, pengerinan cenderung meningkatkan kandungan beberapa volatil, termasuk geranil asetat, sitronelal, dan neral, selain intensitas aroma *lime leaf* dan *orange peel*. Pengerinan oven menghasilkan skor kesukaan aroma dan kandungan volatil yang tinggi. Tiga atribut aroma, *citrus*, *lime leaf*, dan asam, ditentukan sebagai aroma yang disukai berdasarkan asosiasinya dengan kesukaan keseluruhan. Aroma *citrus* berkorelasi dengan sabinen, limonen, (Z)- $\beta$ -ocimene,  $\beta$ -citronellol, dan geranial. Aroma *orange peel* berkorelasi dengan (E)- $\beta$ -ocimene, dan sitronelal, sedangkan asam berkorelasi dengan (Z)- $\beta$ -ocimene, (E)- $\beta$ -ocimene, dan sitronelal. Andaliman dengan kualitas rasa yang dapat diterima harus memiliki kandungan tujuh volatil yang tinggi. Semua andaliman kering memiliki profil aroma yang sangat berbeda dengan andaliman segar, namun, pengerinan oven dapat disarankan sebagai metode pengerinan yang disukai karena waktu pengerinannya yang singkat, aktivitas air yang rendah, skor kesukaan yang unggul, kandungan volatil yang tinggi, dan intensitas aroma.

### Nanoemulsi Ekstrak Andaliman

Uji coba pembuatan sampel nanoemulsi ekstrak andaliman untuk menentukan batas atas dan batas bawah konsentrasi ekstrak telah dilakukan dengan formula seperti pada Tabel 3. Sampel M2 membentuk lapisan minyak setelah penyimpanan kurang dari 30 menit di suhu ruang. Pemisahan fase dapat terjadi karena kurangnya jumlah emulsifier yang diperlukan untuk menstabilkan sistem emulsi.

Tabel 3 Formula trial nanoemulsi ekstrak andaliman

Formula	Bahan	Jumlah	Persentase	Formula	Bahan	Jumlah	Persentase
M1	Ekstrak andaliman (g)	3	1.0	M2	Ekstrak andaliman (g)	30	10.0
	WPC (g)	1.5	0.5		WPC (g)	1.5	0.5
	Pati OSA (g)	15	5.0		Pati OSA (g)	15	5.0
	Aquades (mL)	280.5	93.5		Aquades (mL)	253.5	84.5
	Jumlah (g)	300	100.0		Jumlah (g)	300	100.0

Percobaan pembuatan nanoemulsi andaliman dalam menentukan batas atas dan batas bawah tekanan serta siklus homogenisasi dilakukan dengan menggunakan WPC sebagai emulsifier. Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Tabel 4 Data hasil percobaan dengan variasi tekanan dan jumlah siklus homogenisasi

Formula	Tekanan (bar)	Jumlah siklus	Suhu akhir sampel (°C)	Diameter partikel (nm)	PDI
F0W 25 gram ekstrak andaliman 50 gram whey protein concentrate 300 mL aquades	600	4	44	252.6	0.207
		8	46	202.1	0.152
		12	46.5	198.0	0.176
F0W 30 gram ekstrak andaliman 60 gram whey protein concentrate 360 mL aquades	800	4	50.5	232.7	0.198
		8	49.5	196.0	0.161
		12	55	186.5	0.188

Percobaan pada tekanan 600 bar dilakukan berdasarkan penelitian yang sebelumnya dilakukan oleh Hoa (2018) dalam pembentukan nanoemulsi andaliman. Variasi siklus menunjukkan kecenderungan penurunan ukuran partikel saat jumlah siklus ditingkatkan. Ukuran partikel yang diharapkan terbentuk dalam sistem nanoemulsi adalah  $d < 200$  nm mengacu pada McClements (2012). Indeks polidispersi (PDI) menunjukkan besaran distribusi ukuran partikel dalam sistem nanoemulsi. Nilai PDI kurang dari 0.2 secara umum menunjukkan distribusi ukuran partikel yang seragam dalam sistem emulsi (Liew et al. 2020). Hasil percobaan menunjukkan sebaran ukuran partikel yang homogen untuk seluruh percobaan, karena nilainya kurang dari dan mendekati 0.2.

Percobaan dilakukan kembali dengan meningkatkan tekanan homogenisasi hingga 800 bar. Kenaikan

tekanan menunjukkan pengaruh pada penurunan ukuran partikel yang disebabkan oleh semakin besar tumbukan yang terjadi antar partikel sehingga dapat terbentuk partikel dengan ukuran yang lebih kecil. Namun, hal tersebut juga berpengaruh pada kenaikan suhu sampel selama proses homogenisasi berlangsung. Kenaikan suhu disiasati dengan melakukan jeda selama beberapa menit sebelum melanjutkan proses homogenisasi. Cara lain yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan ice bath untuk menurunkan suhu sampel selama proses homogenisasi berlangsung. Homogenisasi pada tekanan 800 bar cenderung menghasilkan partikel dengan ukuran mendekati 200 nm, sesuai dengan ukuran yang diharapkan. Peningkatan tekanan masih dapat dilakukan menyesuaikan dengan kemampuan alat yang digunakan. Namun, dalam penelitian ini, alat yang digunakan hanya mampu beroperasi pada tekanan maksimum sebesar 800 bar. Maka, kondisi homogenisasi akan dilakukan pada tekanan tetap (800 bar) dengan jumlah siklus sebagai faktor yang akan dioptimasi pada kisaran 8 – 16 siklus. Percobaan selanjutnya dilakukan dengan menggunakan kombinasi WPC dan pati OSA sebagai emulsifier pada sistem nanoemulsi. Hasil yang diperoleh seperti pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil percobaan dengan kombinasi WPC dan pati OSA sebagai emulsifier

Formula	Tekanan (bar)	Jumlah siklus	Suhu akhir sampel (°C)	Diameter partikel (nm)	PDI
F0M1 3 gram ekstrak andaliman 1.5 gram whey protein concentrate 15 gram pati OSA 280.5 mL aquades	800	12	52	202.3	0.206

Penggunaan kombinasi WPC dengan pati OSA sebagai emulsifier menunjukkan ukuran partikel sesuai dengan harapan. Kombinasi ini dapat menunjukkan bahwa pengurangan jumlah bahan yang digunakan masih dapat membentuk partikel berukuran nano dengan sebaran yang homogen. Apabila dibandingkan dengan formula F0W, formula F0M1 cenderung lebih efisien dalam penggunaan bahan. Pengamatan sensori secara pribadi pada aroma, rasa, dan sensasi trigeminal antara sampel F0W dan F0M1 tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Percobaan selanjutnya dapat dilakukan untuk menentukan batas atas dan batas bawah untuk konsentrasi serta rasio WPC: pati OSA.

Pengukuran aktivitas antioksidan dilakukan terhadap sampel nanoemulsi untuk menentukan batas atas dan bawah konsentrasi ekstrak andaliman. Hasil pengukuran dilaporkan sebagai nilai persentase inhibisi terhadap radikal DPPH seperti yang tercantum pada Tabel 6. Kedua sampel masih belum dapat menunjukkan adanya pengaruh dalam stabilitas maupun peningkatan aktivitas antioksidan ekstrak andaliman setelah proses nanoemulsifikasi. Hal ini diduga terjadi karena pelarut pada ekstrak andaliman yang digunakan masih belum terevaporasi sempurna. Percobaan lebih lanjut masih harus dilakukan untuk meningkatkan aktivitas antioksidan ekstrak andaliman dalam bentuk nanoemulsi dengan menambahkan konsentrasi ekstrak dalam sistem nanoemulsi. Sampel M1 dan M2 dianalisis aktivitasnya terhadap inhibisi senyawa radikal bebas DPPH. Sampel M1 dan M2 pada konsentrasi 10000 ppm masing-masing dapat menginhibisi sebesar 8% dan 62.69% senyawa radikal. Sedangkan, ekstrak andaliman pada konsentrasi 100 ppm mampu menginhibisi hampir 50% senyawa radikal (Tabel 6).

Tabel 6 Aktivitas antioksidan nanoemulsi ekstrak andaliman

Sampel	Konsentrasi Sampel	Konsentrasi Ekstrak Andaliman dalam Sampel	%Inhibisi Radikal DPPH
M1 (1% ekstrak andaliman)	10000 ppm	100 ppm	8.19%
M2 (10% ekstrak andaliman)	10000 ppm	1000 ppm	62.69%
Ekstrak andaliman	100 ppm	100 ppm	49.73%
	1000 ppm	1000 ppm	86.49%

Rancangan percobaan optimasi dengan Design Expert 11 untuk formulasi nanoemulsi ekstrak andaliman seperti pada Tabel 6. Faktor optimasi yang diterapkan yaitu siklus homogenisasi (8-20 siklus), persentase ekstrak andaliman (10-20%), rasio WPC:OSA (0.1 – 1.0). Adapun respon yang akan diuji dari seluruh sampel percobaan adalah ukuran partikel, PDI, stabilitas emulsi, persentase inhibisi senyawa radikal DPPH, dan uji sensori (aroma, rasa, dan sensasi trigeminal). Uji sensori pada penelitian ini diharapkan dapat mengidentifikasi seberapa besar kemiripan aroma, rasa, dan sensasi trigeminal nanoemulsi andaliman dibandingkan dengan ekstrak/andaliman

segar. Saat ini tersedia panelis ahli sejumlah 9 orang yang telah terbiasa melakukan uji sensori. Namun, para panelis ahli belum familiar dengan andaliman, sehingga masih diperlukan pelatihan khusus untuk memperkenalkan andaliman kepada panelis ahli tersebut. Penelitian pembuatan nanoemulsi ekstrak andaliman ini masih dalam tahap pelaksanaan dan akan dilanjutkan untuk tahap optimasi formulasi nanoemulsi.

Tabel 7 Rancangan percobaan optimasi dengan Design Expert 11

Run	Cycle	Andaliman Extract (%)	WPC:OSA ratio
1	8.3	15.8	0.47558
2	20	20	0.1
3	12.86	20	0.6355
4	20	10	0.1
5	12.8	14.05	0.1
6	15.74	10	1
7	20	14.0423	0.64
8	8	20	0.1
9	14.9774	10.25	0.469
10	8	16.45	1
11	8	10	0.415
12	20	20	1
13	20	20	1
14	8	10	0.9955
15	8	20	0.1

## Kegiatan Penelitian Tahun II

### Andaliman setelah Beberapa Metode Pengolahan

Andaliman segar diperoleh dari petani di Sumatera Utara, dan buah dibungkus menggunakan kertas pembungkus dan disimpan dalam freezer untuk memperlambat proses degradasi. Kemasan berbahan kertas dapat menyerap air yang cenderung dikeluarkan oleh andaliman selama penyimpanan. Buah andaliman yang berwarna hijau dipilah dari ranting, daun, dan buah berwarna merah atau hitam. Setelah penyortiran, buah dicuci untuk menghilangkan kotoran yang lebih kecil, ditiriskan, dan dikeringkan dengan udara pada suhu kamar. Andaliman segar ditimbang sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan untuk diproses lebih lanjut. Proses yang dipilih untuk menjaga kualitas andaliman adalah pengeringan oven, ekstraksi, dan enkapsulasi. Hasil dari masing-masing metode pengolahan disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7 Andaliman setelah beberapa metode pengolahan. (FA) andaliman segar, (DA) andaliman kering, (EA) ekstrak andaliman, (FOSA) ekstrak andaliman terenkapsulasi dengan MD+OSA, (FWPC) ekstrak andaliman terenkapsulasi dengan MD+WPC

Pengeringan andaliman dengan oven dilakukan sesuai dengan metode yang dipelajari sebelumnya oleh Napitupulu *et al.* (2020). Penelitian ini mempelajari berbagai metode pengeringan, antara lain pengeringan dengan sinar matahari, pengeringan udara, pengeringan oven, pengeringan *fluidized bed*, pengeringan infra merah jauh, dan pengeringan beku. Beberapa pertimbangan harus diambil saat memilih metode pengeringan yang tepat karena

andaliman memiliki senyawa volatil yang rentan terdegradasi setelah perlakuan panas. Dua parameter penting yang mempengaruhi produk akhir adalah suhu dan lama pengeringan. Pengeringan oven dipilih sebagai metode yang tepat dengan mempertimbangkan kelayakan ekonomi dan teknis.

Proses pengeringan dari 300 gram andaliman segar dapat menghasilkan 75 gram andaliman kering. Proses pengeringan menghilangkan 75% massa, sedangkan andaliman segar memiliki kadar air 77% (Suharta *et al.* 2021). Oleh karena itu, proses pengeringan oven menghilangkan sebagian besar air dari andaliman. Setelah kering, kulit andaliman bagian luar berubah warna dari hijau menjadi coklat, sedangkan bagian dalam tetap hijau. Kulit menyusut karena pelepasan kelembaban yang mengekspos biji hitam mengkilat dari buah andaliman. Pengujian dalam mengendus dan mengunyah masih mendeteksi aroma dan sensasi *tingling* dari andaliman kering. Andaliman kering oven memiliki kadar air 5,0% dengan aktivitas air 0,45 (Napitupulu *et al.* 2020). Sebelum dianalisis lebih lanjut, andaliman kering dikemas dalam kemasan berlaminasi aluminium dan disimpan di lemari es.

Metode untuk mempertahankan kualitas rasa andaliman juga dapat dicapai dengan membuatnya menjadi ekstrak pekat. Ekstraksi andaliman dilakukan dengan metode maserasi dengan pelarut etanol dan etil asetat (1:1). Maserasi menghasilkan aroma yang paling mirip dengan andaliman segar (Wijaya *et al.* 2002). Ekstrak yang dihasilkan dari maserasi berkaitan erat dengan pelarut yang digunakan. Kombinasi etanol dan etil asetat dengan perbandingan 1:1 menunjukkan rasa yang paling mendekati andaliman segar dibandingkan dengan maserasi menggunakan air dan etanol (Akyla 2014; Rienoviar dan Setyaningsih 2018). Hal ini terkait dengan polaritas pelarut yang menangkap senyawa flavor baik polar maupun non-polar. Setelah proses maserasi, ekstrak diuapkan untuk menghilangkan kelebihan pelarut, sehingga menghasilkan ekstrak andaliman pekat dengan warna hijau kecoklatan. Ekstrak andaliman memiliki aroma yang kuat menyerupai andaliman segar. Ekstrak disimpan dalam botol kaca amber di lemari es untuk mencegah degradasi selama penyimpanan.

Ekstrak flavor dari tumbuhan biasanya rentan terhadap degradasi selama penyimpanan karena cahaya, oksigen, dan panas. Ini juga kurang larut dalam air (Shaikh *et al.* 2006). Oleh karena itu, perlindungan terhadap faktor lingkungan diperlukan untuk mencegah degradasi rasa selama penyimpanan. Enkapsulasi telah dilakukan dengan menjebak ekstrak rasa ke dalam matriks, memberikan penghalang eksternal yang membatasi reaksi yang terjadi (Krishnan *et al.* 2005).

Enkapsulasi ekstrak andaliman dilakukan dengan menggunakan kombinasi maltodekstrin dengan pati termodifikasi OSA atau konsentrat protein whey (WPC). Bahan dinding harus memiliki kemampuan pembentuk film dan pengemulsi untuk memberikan penghalang pelindung terhadap ekstrak dari faktor lingkungan yang dapat menyebabkan degradasi selama penyimpanan (Saifullah *et al.* 2019). Maltodekstrin dengan ekuivalen dekstrosa yang berbeda telah banyak digunakan sebagai bahan dinding karena kelarutan dalam air yang tinggi, viskositas rendah, dan keterjangkauan ekonomi. Maltodekstrin menyediakan lapisan penghalang eksternal yang solid karena kemampuannya membentuk film yang layak (González *et al.* 2020). Namun, ia memiliki kemampuan pengemulsi yang rendah sehingga membutuhkan bahan dinding tambahan untuk hasil enkapsulasi yang lebih baik. Pati OSA (*octenyl succinic anhydrate*) merupakan pati termodifikasi yang bersifat amfifilik karena penambahan komponen lipofilik dari gugus OSA. Karakteristik amfifilik dari pati OSA memberikan kemampuan pengemulsi yang besar untuk produk makanan (Sweedman *et al.* 2013). Konsentrat protein whey (WPC) adalah alternatif lain untuk meningkatkan stabilitas matriks enkapsulasi. WPC terdiri dari 80% protein dengan struktur amfifiliknya; sehingga cocok untuk ditambahkan sebagai *emulsifying agent* (Mohammadzadeh *et al.* 2013). Kombinasi MD+OSA dan MD+WPC telah menunjukkan potensinya dalam enkapsulasi minyak biji rami dengan nilai efisiensi enkapsulasi 60-90% dan memberikan stabilitas oksidatif bahan aktif selama penyimpanan (Carneiro *et al.* 2013).

Proses enkapsulasi dilakukan dengan menggunakan *spray dryer* dengan suhu inlet 150 °C. Ekstrak Andaliman ditambahkan dengan perbandingan 0,5:4 ke dalam larutan bahan dinding. Parameter proses diadopsi dari penelitian sebelumnya oleh Hoa (2018) dan Akyla (2014), yang menghasilkan ekstrak andaliman terenkapsulasi dengan kualitas rasa yang mirip dengan andaliman segar. Pada penelitian ini ekstrak andaliman yang dienkapsulasi dengan kombinasi MD+OSA diberi label FOSA, sedangkan ekstrak MD+WPC diberi label FWPC. Kedua jenis ekstrak andaliman yang dienkapsulasi menunjukkan sedikit perbedaan warna.

### **Profil Aroma Olahan Andaliman**

Evaluasi atribut aroma andaliman olahan dilakukan melalui Analisis Deskriptif Kuantitatif. Prosesnya dimulai dengan *screening*, *focus group discussion*, pelatihan, simulasi, dan sesi evaluasi aktual. Para panelis diseleksi di kalangan mahasiswa S1 dan S2 IPB University berdasarkan familiaritas mereka dengan proses evaluasi sensorial dan pengalaman mereka dalam mengonsumsi andaliman.

Proses penyaringan dilakukan dengan 50 kandidat berusia 18-36 tahun. Sebagian besar kandidat mengetahui proses evaluasi sensorial, mengenal andaliman, bukan perokok, dan tidak memiliki reaksi alergi terhadap rempah-rempah dan turunan susu. Semua kandidat disaring kemampuannya mendeskripsikan aroma dan membedakan perbedaan intensitas aroma melalui identifikasi aroma dan uji segitiga. Setelah proses penyaringan, terpilih 21 panelis untuk mengikuti sesi pelatihan. Sebelum sesi pelatihan, panelis mengikuti sesi *focus group discussion* untuk menghasilkan atribut aroma andaliman segar. Mereka mengevaluasi aroma andaliman segar satu



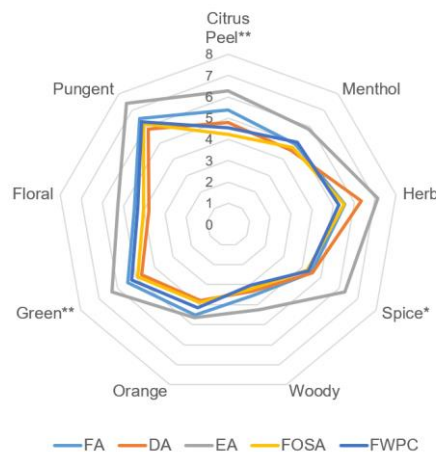
per satu, mendiskusikan aromanya sebagai panel, dan mencapai konsensus tentang daftar atribut aroma untuk andaliman, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8 Daftar atribut aroma andaliman berdasarkan kesepakatan panelis

Aroma	Deskripsi
Citrus Peel	Acidic and peely aroma associated with citrus peel
Mint/Menthol	Minty, fresh aroma with cooling sensation
Herb	Herbal aroma associated with herbs and its bitter characteristic
Spice	Spicy aroma associated with spices
Woody	Aromatic associated with damp wood
Orange	Sweet aromatics associated with orange
Green	Green aroma associated with newly cut grass and leaves
Floral	Floral aroma associated with fresh and fragrant flowers
Pungent	Sharp and biting aroma associated with andaliman

Semua panelis mengikuti empat sesi pelatihan yang berlangsung selama 2 jam untuk setiap sesi. Kinerja semua panelis dievaluasi melalui dua sesi simulasi. Beberapa panelis mengundurkan diri dari keikutsertaannya pada saat sesi pelatihan; sehingga hanya 15 panelis yang mengikuti simulasi. Panelis mengevaluasi aroma tiga sampel (andaliman segar, ekstrak andaliman, dan ekstrak andaliman terenkapsulasi FOSA) yang dibuat serupa dengan penilaian sebenarnya. Panelis dievaluasi berdasarkan kemampuan diskriminasi mereka (nilai  $p < 0,05$  untuk minimal 4 atribut) dan pengulangan (RMSE  $< 1,96$  untuk minimal 4 atribut), juga mempertimbangkan konsensus mereka (ISO 2021; Lopez-Lopez *et al.* 2019 ; ISO 2012).

Sepuluh panelis terlatih (8 perempuan, 2 laki-laki) memenuhi syarat untuk berpartisipasi dalam penilaian yang sebenarnya. Mereka mengevaluasi aroma setiap sampel dengan memberikan skor intensitas mengenai referensi aroma untuk setiap atribut pada skala garis 15 cm. Rerata skor intensitas aroma sampel andaliman dianalisis menggunakan one-way ANOVA, dan hasilnya disajikan dalam bentuk *spider web* pada Gambar 8. andaliman segar (FA), ekstrak andaliman (EA), ekstrak andaliman terenkapsulasi dengan OSA+MD (FOSA), dan ekstrak andaliman terenkapsulasi dengan WPC+MD (FWPC) didominasi aroma menyengat dengan intensitas paling tinggi. Sedangkan andaliman kering (DA) memiliki intensitas aroma *herb* yang paling tinggi. Perbedaan yang signifikan antara ekstrak andaliman (EA) dan sampel lainnya pada atribut kulit jeruk, rempah-rempah, dan *green*. Sampel lainnya (DA, FOSA, dan FWPC) menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan terhadap andaliman segar (FA) pada semua atribut aroma.



Gambar 8 *Spider web* intensitas aroma sampel andaliman dengan skor QDA pada skala garis 15 cm. (\*) p-value  $< 0,05$ , (\*\*) p-value  $< 0,10$ , (FA) andaliman segar, (DA) andaliman kering, (EA) ekstrak andaliman, (FOSA) ekstrak andaliman terenkapsulasi dengan MD+OSA, (FWPC) ekstrak andaliman terenkapsulasi dengan MD+WPC

Andaliman segar digambarkan memiliki intensitas aroma yang menyengat, *herb*, *green*, dan kulit jeruk. Pendeskripsi aroma andaliman segar ini juga dominan dideskripsikan sebagai aroma rempah-rempah lain dari genus *Zanthoxylum* (Jiang dan Kubota 2004; Yang 2008; Sriwichai *et al.* 2019; Yang *et al.* 2021). Karakteristik aroma dipengaruhi oleh adanya sitronelal dan limonen yang merupakan komponen aroma utama andaliman.



Citronelal memberikan aroma jeruk yang intens dan hangat, sedangkan limonena memberikan aroma kulit jeruk dan manis (Wijaya *et al.* 2002). Andaliman segar memiliki atribut jenis jeruk yang mendominasi profil aroma (Suharta *et al.* 2021). Namun, atribut jenis jeruk sebagian besar adalah terpen yang hampir tidak larut dalam air (Yang *et al.* 2021), menyebabkan penurunan intensitas yang dirasakan oleh panelis selama penelitian ini.

Andaliman kering didominasi oleh aroma *herb*, *pungent*, dan kulit jeruk. Aroma *herb* lebih tinggi terdeteksi pada andaliman kering dibandingkan dengan andaliman segar, hal ini berkaitan dengan kadar  $\beta$ -selinena yang lebih tinggi pada andaliman kering oven (Suharta *et al.* 2021). Sel-sel dalam produk kering pecah saat air dilepaskan; dengan demikian, beberapa senyawa lebih efektif diekstraksi (de Torres *et al.* 2010). Atribut aroma keseluruhan DA tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dari FA. Hal ini dipengaruhi oleh senyawa aroma esensial andaliman, sitronelal dan limonene yang memiliki titik didih masing-masing 208 °C dan 176 °C (Kanza *et al.* 2021). Titik didih yang tinggi dari kedua senyawa aroma tersebut dapat mempengaruhi andaliman kering yang dihasilkan dengan perbedaan yang tidak signifikan dengan andaliman segar.

Kesamaan profil aroma antara andaliman kering dan segar juga berkaitan dengan metode pengeringan yang mengikuti penelitian Napitupulu *et al.* (2020). Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode pengeringan oven dapat menghasilkan buah andaliman kering dengan kualitas rasa yang optimal, mirip dengan andaliman segar. Namun, Suharta *et al.* (2021) menemukan bahwa metode pengeringan oven yang tepat memiliki beberapa penyimpanan dalam profil aroma untuk andaliman segar berdasarkan analisis RATA. Perbedaan kondisi penyajian dapat mempengaruhi hasil yang kontras selama penilaian. Penelitian sebelumnya menyajikan sampel andaliman yang tidak berubah, sedangkan pada penelitian ini sampel andaliman dievaluasi dalam ekstrak air. Meskipun andaliman segar dan andaliman kering mungkin memiliki profil aroma yang berbeda dalam bentuk awalnya, mereka masih dapat memberikan profil yang sama ketika dimasukkan ke dalam media berair seperti yang dilakukan selama penelitian ini.

Ekstrak Andaliman didominasi oleh aroma *pungent*, *green*, rempah, dan kulit jeruk. EA memiliki intensitas semua atribut aroma yang lebih tinggi daripada andaliman segar. Proses ekstraksi menggunakan pelarut etil asetat dan etanol yang dapat mengekstrak berbagai senyawa aroma dari andaliman segar (Rienoviar dan Setyaningsih 2018). Etil asetat dan etanol memiliki polaritas relatif masing-masing 0,228 dan 0,654 (Reichardt dan Welton 2010). Kombinasi keduanya mengekstrak senyawa aroma mulai dari senyawa non-polar hingga semi-polar. Namun, hanya kulit jeruk, rempah-rempah, dan aroma *green* yang intensitasnya lebih tinggi secara signifikan dibandingkan sampel lainnya. Atribut aroma dominan ini mirip dengan jenis aroma yang menggambarkan ekstrak dari spesies *Zanthoxylum* (Yang 2008). Sampel EA murni tanpa pengenceran apapun dapat mempengaruhi intensitas aroma yang lebih tinggi dalam EA yang disajikan selama proses evaluasi. Proses ekstraksi dimaksudkan untuk menghilangkan zat-zat yang tidak memberikan kontribusi pada aroma andaliman, hanya menyisakan zat-zat yang berhubungan dengan aroma, sehingga memberikan intensitas yang lebih tinggi saat dihirup.

FOSA dan FWPC menunjukkan profil yang sama karena tidak ada atribut aroma yang berbeda secara signifikan antara kedua sampel dan sampel lainnya. Namun, FWPC lebih cenderung memiliki intensitas aroma yang lebih tinggi daripada FOSA. FOSA membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai larutan homogen selama preparasi sampel, dan beberapa gumpalan terbentuk selama vortexing dengan air sebagai pelarut. WPC memiliki kelarutan yang lebih tinggi daripada pati yang dimodifikasi OSA dalam air (Silva *et al.* 2016), memungkinkan pelarutan lebih cepat untuk mencegah pengurangan volatil selama persiapan sampel sebelum evaluasi sensori.

FOSA dan FWPC didominasi oleh aroma *pungent*, *herbs*, dan *green*. Kedua sampel memiliki intensitas semua atribut aroma yang lebih rendah dibandingkan dengan FA. Namun, tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap FA, menunjukkan bahwa enkapsulasi memiliki prospek yang wajar untuk melindungi senyawa rasa andaliman. Aroma *green*, rempah-rempah, dan kulit jeruk FOSA dan FWPC secara signifikan lebih rendah daripada EA yang digunakan selama proses enkapsulasi. Aroma kulit jeruk paling sedikit terasa pada FOSA dan FWPC dibandingkan dengan sampel lainnya. Aroma kulit jeruk yang lebih rendah mungkin terkait dengan ketidakstabilan salah satu senyawa aroma jeruk, sabinena, yang memiliki titik didih sekitar 160 °C (Koldaş *et al.* 2015). Senyawa yang tidak stabil lebih cenderung terikat di permukaan daripada di dalam matriks yang dienkapsulasi (Baranauskiene *et al.* 2006). Oleh karena itu, hilangnya aroma dapat dengan cepat terjadi selama penyimpanan.

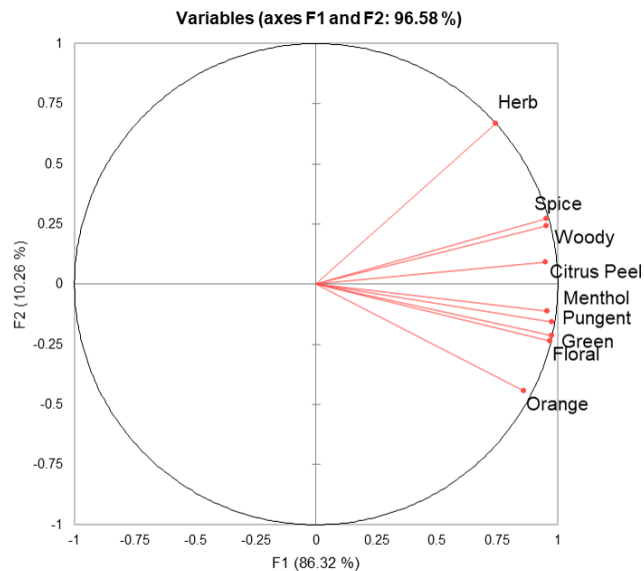
Berdasarkan profil aroma dengan metode QDA, sebagian besar sampel dari metode pengolahan yang berbeda menunjukkan intensitas aroma yang sama. Intensitas aroma EA menunjukkan perbedaan yang signifikan, yang lebih tinggi secara signifikan pada beberapa atribut. Intensitas EA yang lebih tinggi di beberapa atribut mungkin berkontribusi pada kondisi penyajian EA tanpa pengenceran sebelumnya. Di sisi lain, kesamaan intensitas aroma sisa sampel juga dipengaruhi oleh cara penyajian yang meniru penggunaan andaliman pada masakan berkuah. Andaliman dari beberapa metode pengolahan telah memberikan hasil yang menjanjikan untuk mempertahankan aroma andaliman, terutama setelah simulasi hingga pemanfaatannya yang sebenarnya.

Variasi atribut aroma pada sampel andaliman diamati lebih lanjut melalui PCA. Dua komponen utama (F) menjelaskan 96,58% dari total varians (F1: 86,32%, F2: 10,36%). Seperti yang terlihat pada Gambar 9, plot pemuatan memproyeksikan atribut aroma sebagai variabel ke dalam sepasang komponen utama. Kesembilan

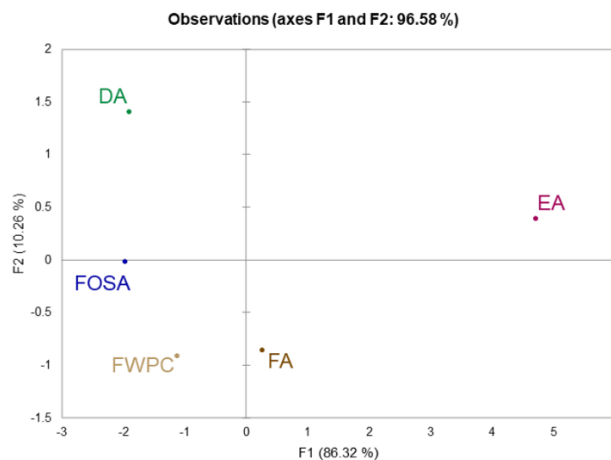
atribut tersebut dipisahkan menjadi dua kelompok. Kelompok pertama terletak di kuadran F positif, yang meliputi *herbs*, rempah-rempah, *woody*, dan kulit jeruk. Kelompok kedua yang terletak pada F1 positif dan F2 negatif adalah mentol, *pungent*, *green*, *floral*, dan *orange*. Kelompok pertama terdiri dari aroma hangat, sedangkan kelompok kedua lebih cenderung memiliki aroma yang lebih menyegarkan. Korelasi yang kuat diamati antara pasangan rempah-rempah dan *woody* juga, *green* dan *floral*. Korelasi yang kuat dari pasangan-pasangan tersebut juga ditemukan dalam penelitian Suharta *et al.* (2021) tentang atribut aroma sampel andaliman.

Sampel andaliman setelah metode pengolahan yang berbeda diproyeksikan ke dalam skor plot, seperti yang terlihat pada Gambar 10. Andaliman dari metode pengolahan yang berbeda disajikan dalam empat kuadran, menunjukkan bahwa setiap proses menghasilkan karakteristik andaliman yang berbeda. Ekstrak Andaliman (EA) terletak di sisi paling kanan plot, menunjukkan korelasi yang rendah dengan sampel lainnya. Hal ini sesuai dengan pengamatan intensitas aroma pada *spider web* bahwa EA memiliki intensitas aroma yang lebih tinggi, dan beberapa atribut aroma berbeda nyata dengan sampel lainnya.

EA, DA, FOSA, dan FWPC terletak di kuadran yang berbeda dengan FA, dengan FOSA dan FWPC terletak di kuadran yang sama. Enkapsulasi ekstrak andaliman menghasilkan karakteristik yang sama, meskipun bahan dinding yang digunakan berbeda. Berdasarkan skor plot, metode pengolahan menghasilkan karakteristik aroma yang berbeda dengan andaliman segar (FA). Hasil ini berbanding terbalik dengan data *spider web* karena perbedaan yang signifikan hanya terlihat pada beberapa atribut EA dengan andaliman olahan lainnya. Kontradiksi antara data PCA dan *spider web* menunjukkan bahwa hasil yang tidak signifikan dari beberapa atribut aroma, menurut panelis, dirasakan berbeda di PCA. Oleh karena itu, masih diperlukan lebih banyak pelatihan bagi panelis untuk meningkatkan kinerjanya dalam menghasilkan kesepakatan bersama tentang intensitas aroma.



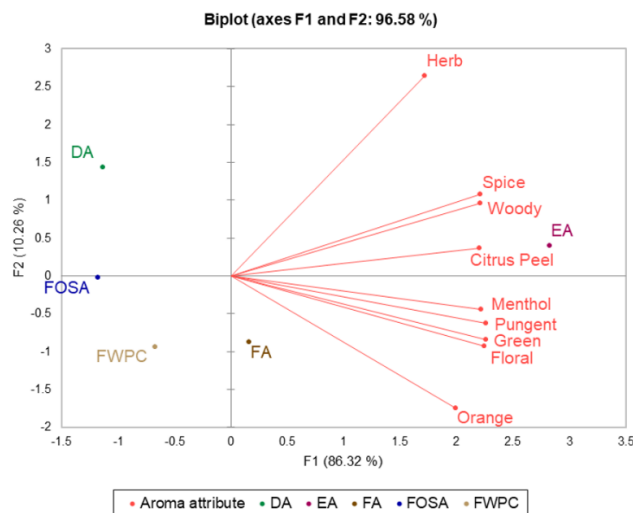
Gambar 9 Loading plot atribut aroma andaliman dari PCA



Gambar 10 Score plot sampel andaliman setelah metode pengolahan yang berbeda dari PCA. (FA) andaliman segar, (DA) andaliman kering, (EA) ekstrak andaliman, (FOSA) ekstrak andaliman terenkapsulasi dengan MD+OSA, (FWPC) ekstrak andaliman terenkapsulasi dengan MD+WPC

Biplot menggabungkan proyeksi atribut aroma dan sampel menjadi satu plot, seperti terlihat pada Gambar 11. Ekstrak Andaliman dipisahkan dari sampel lainnya, dengan semua atribut aroma menuju ke arah yang sama. Hal ini sejalan dengan *spider web* bahwa EA memiliki intensitas tertinggi dari semua atribut aroma dibandingkan andaliman lain dari metode pengolahan yang berbeda. EA dideskripsikan dengan aroma *herb*, rempah-rempah, *woody*, dan kulit jeruk karena letaknya yang saling berada di kuadran yang sama. Hal ini sependapat dengan jaring laba-laba yang menunjuk pada kulit jeruk dan aroma rempah-rempah, yang secara signifikan lebih tinggi pada EA. FA dapat digambarkan memiliki aroma mentol, *pungent*, *woody*, *floral*, dan *orange* karena terletak pada kuadran yang sama. Atribut aroma ini tidak secara signifikan lebih tinggi dari sampel lain, seperti yang terlihat di jaring laba-laba. Namun, menurut PCA, intensitasnya cukup kuat untuk membedakan FA dari sampel lain. Biplot menunjukkan bahwa andaliman segar memiliki aroma yang menyegarkan, sedangkan proses ekstraksi menghasilkan andaliman dengan aroma hangat yang lebih kuat.

DA, FOSA, dan FWPC tidak berasosiasi dengan atribut aroma apapun, yang berarti atribut aroma kurang terasa pada sampel. Hal ini juga terkait dengan intensitas aroma andaliman kering dan enkapsulasi yang lebih rendah dari FA dan EA seperti yang terlihat pada jaring laba-laba. DA, FOSA, dan FWPC terletak berdekatan satu sama lain. Namun, FOSA dan FWPC terletak di kuadran yang sama, menunjukkan korelasi yang lebih dekat antara kedua sampel. Hal ini menunjukkan bahwa pengeringan dan enkapsulasi menghasilkan profil aroma andaliman yang lebih mirip namun memiliki perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan EA.



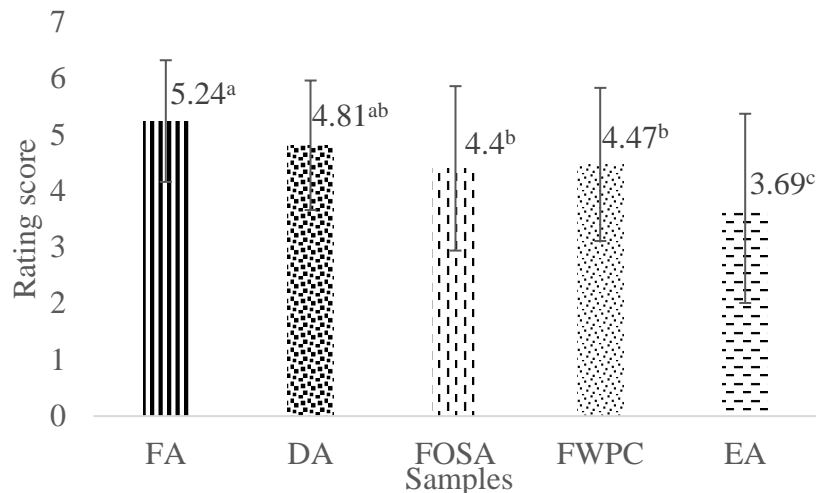
Gambar 11 Biplot PCA atribut aroma dan andaliman setelah metode pengolahan yang berbeda. (FA) andaliman segar, (DA) andaliman kering, (EA) ekstrak andaliman, (FOSA) ekstrak andaliman terenkapsulasi dengan MD+OSA, (FWPC) ekstrak andaliman terenkapsulasi dengan MD+WPC

Biplot PCA sesuai dengan perbedaan yang signifikan dalam intensitas beberapa atribut aroma yang memisahkan EA dari sampel lainnya. Intensitas atribut yang lebih tinggi secara signifikan dalam EA mungkin mempengaruhi asosiasi yang lemah dari semua atribut aroma terhadap DA, FOSA, dan FWPC. Dengan perbedaan intensitas aroma yang tidak signifikan antara DA, FOSA, dan FWPC di sebagian besar atribut, disajikan dengan baik dalam biplot bahwa sampel-sampel tersebut lebih mirip satu sama lain.

### Preferensi Panelis terhadap Andaliman Olahan

Penilaian hedonik dan pemeringkatan dilakukan dengan 70 orang panelis yang terdiri dari mahasiswa dan pekerja yang berdomisili di sekitar Bogor. Panelis mengevaluasi lima sampel andaliman: andaliman segar (FA), ekstrak andaliman (EA), ekstrak andaliman terenkapsulasi dengan OSA+MD (FOSA), dan ekstrak andaliman terenkapsulasi dengan WPC+MD (FWPC), terhadap aromanya dan memberikan *rating score* dan skor peringkat berdasarkan preferensi mereka. Hasil keseluruhan dari peringkat hedonis dan skor peringkat disajikan pada Gambar 12 dan Tabel 9.

Panelis memberikan skor penilaian pada skala kesukaan 7 poin tanpa membandingkan antar sampel. FA dinilai tertinggi untuk preferensi aroma, diikuti oleh DA, FWPC, FOSA, dan EA. FA dan DA mendapat skor sekitar 5, yang dapat diterjemahkan ke dalam skala "sedikit suka". FOSA, FWPC, dan EA mendapat skor sekitar 4, yang berarti "tidak suka atau tidak suka". Panelis masih ragu-ragu tentang penerimaan mereka terhadap FOSA, FWPC, dan EA. Namun, FOSA dan FWPC secara signifikan lebih disukai daripada EA.



Gambar 12 Nilai rating aroma andaliman setelah metode pengolahan yang berbeda. Garis vertikal menyerupai simpangan baku dan perbedaan huruf subskrip menunjukkan perbedaan signifikan antar sampel pada taraf signifikansi 5%. (FA) andaliman segar, (DA) andaliman kering, (EA) ekstrak andaliman, (FOSA) ekstrak andaliman terenkapsulasi dengan MD+OSA, (FWPC) ekstrak andaliman terenkapsulasi dengan MD+WPC

Setelah uji rating, panelis diminta untuk membandingkan semua sampel dan mengurutkan preferensi mereka pada aroma sampel. Skor peringkat menunjukkan preferensi panelis di antara semua sampel: skor peringkat yang lebih rendah menunjukkan preferensi panelis yang lebih tinggi. Urutan peringkat sampel adalah FA, DA, FOSA, FWPC, dan EA, dari yang paling disukai hingga yang paling tidak disukai. Skor peringkat hampir mirip dengan tes peringkat. Peringkat FA lebih tinggi dari DA, FOSA, dan FWPC, dengan EA di peringkat terendah. Panelis masih lebih menyukai FA daripada andaliman lainnya, karena beberapa metode pengolahan.

Tabel 9 Peringkat skor untuk aroma andaliman setelah metode pengolahan yang berbeda

Sampel	Ranking score
Fresh andaliman (FA)	2.26±1.19 <sup>a</sup>
Dried andaliman (DA)	2.83±1.26 <sup>b</sup>
Encapsulated andaliman extract with MD+OSA (FOSA)	2.99±1.35 <sup>b</sup>
Encapsulated andaliman extract with MD+WPC (FWPC)	3.16±1.29 <sup>b</sup>
Andaliman extract (EA)	3.77±1.56 <sup>c</sup>

Different superscript alphabet in one column indicates significant difference of the scores between samples in a significance level of 5%

Perbedaan yang signifikan dalam preferensi aroma mengklasifikasikan sampel menjadi tiga kelompok, FA sebagai yang paling disukai, DA, FOSA, FWPC di peringkat sedang, dan EA sebagai yang paling tidak disukai. Menghubungkan ke profil aroma pada *spider web*, intensitas atribut aroma yang lebih tinggi menyebabkan skor penerimaan yang lebih rendah, seperti yang terlihat pada skor preferensi untuk EA. FOSA dan FWPC memasukkan EA sebagai objek untuk enkapsulasi, menghasilkan skor preferensi FOSA dan FWPC yang lebih tinggi dibandingkan dengan EA. Konsentrasi EA yang dimasukkan ke dalam matriks yang dienkapsulasi adalah 5%, cukup bagi panelis untuk mendeteksi dan menilai preferensi mereka. Penggabungan EA ke dalam proses enkapsulasi menghasilkan FOSA dan FWPC mampu meningkatkan skor preferensi yang mirip dengan FA. Enkapsulasi FOSA dan FWPC menggunakan maltodekstrin dan pati OSA atau konsentrat protein whey sebagai bahan dinding, yang dapat melindungi senyawa aroma, membatasi reaksi selama penyimpanan. Dalam beberapa kasus, enkapsulasi dapat menutupi bau yang mengganggu, membuat produk lebih dapat diterima (Ezhilarasi *et al.* 2013).

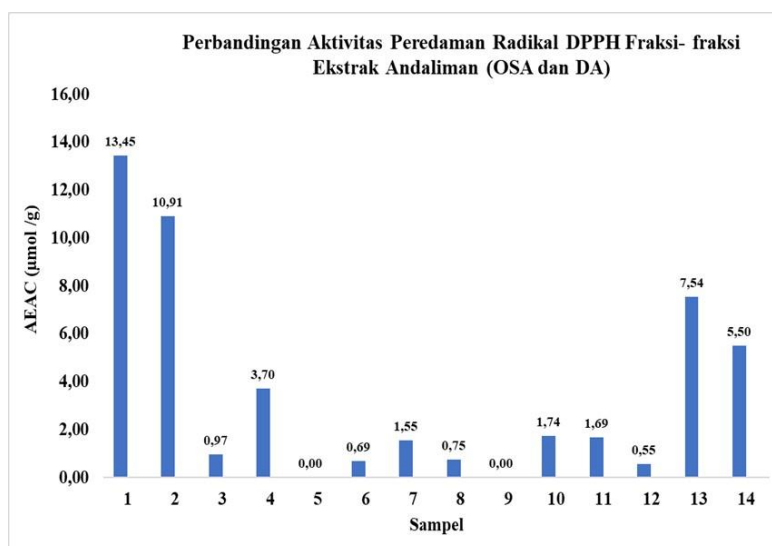
Dalam hal preferensi panelis terhadap sampel andaliman, dapat dilihat bahwa FA lebih disukai daripada sampel lainnya. Kecuali proses pengeringan, metode pengolahan untuk mengawetkan andaliman sangat mempengaruhi preferensi panelis. Peningkatan skor DA menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan dengan FA, sejalan dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa metode pengeringan oven dapat mempertahankan skor kesukaan pada aroma bumbu dan rempah (Mabai *et al.* 2018; Suharta *et al.* 2021). Cara pengolahan dengan bahan tambahan seperti pelarut dan bahan enkapsulasi dapat mengubah aroma andaliman sehingga mempengaruhi kesukaan panelis.

### Aktivitas Antioksidan Andaliman

Pengukuran aktivitas antioksidan dilakukan untuk mengetahui potensi aktivitas fisiologis awal dari andaliman. Aktivitas antioksidan dari sampel andaliman kering (DA) dan ekstrak andaliman yang terenkapsulasi MD+OSA (FOSA) yang diekstraksi dengan pelarut n-heksan, etil asetat dan methanol dianalisis menggunakan metode DPPH. Hasil pengujian aktivitas antioksidan seperti pada Tabel 10, Tabel 11 dan Gambar 12.

Tabel 10. Aktivitas antioksidan andaliman kering (DA) dan ekstrak andaliman yang terenkapsulasi MD+OSA (FOSA)

Kode Sampel	Fraksi	Aktivitas Antioksidan ( $\mu\text{mol AEAC g}^{-1}$ )
1	Ekstrak Nhex Andaliman 1000 ppm	13.453
2	Ekstrak Nhex Andaliman 100 ppm	10.912
3	Ekstrak Etil Asetat Andaliman 1000 ppm	0.967
4	Ekstrak Etil Asetat Andaliman 100 ppm	3.702
5	Ekstrak Metanol Andaliman 1000 ppm	0
6	Ekstrak Metanol Andaliman 100 ppm	0.691
7	FOSA- Nhex 1000 ppm	1.547
8	FOSA- Nhex 100 ppm	0.746
9	FOSA- Eas 1000 ppm	0
10	FOSA- Eas 100 ppm	1.740
11	FOSA- Met 1000 ppm	1.685
12	FOSA- Met 100 ppm	0.553
13	Ekstrak Metanol Andaliman (1 minggu) - 1000 ppm	7.541
14	Ekstrak Metanol Andaliman (1 minggu) - 100 ppm	5.498



Gambar 12. Aktivitas antioksidan andaliman kering (DA) dan ekstrak andaliman yang terenkapsulasi MD+OSA (FOSA)

Tabel 11. Perbandingan  $\text{IC}_{50}$  sampel andaliman kering

Sampel	Aktivitas Antioksidan ( $\text{IC}_{50}$ )
$\text{IC}_{50}$ Asam askorbat	8.307
DA-NHex	557.429
DA-Met	982.275

Pengukuran aktivitas antioksidan dengan metode ini berdasarkan pada kemampuan suatu senyawa uji untuk mengurangi intensitas warna radikal DPPH pada 515 nm (Prior *et al.* 2005). Penggunaan DPPH untuk metode penangkapan radikal mempunyai keuntungan yaitu mudah digunakan, mempunyai tingkat sensitivitas yang tinggi, dan dapat menganalisis sejumlah besar sampel dalam jangka waktu yang singkat (Kim *et al.* 2002). Parameter yang digunakan untuk aktivitas antioksidan dengan metode penangkapan radikal DPPH ini adalah nilai IC<sub>50</sub>, yaitu konsentrasi senyawa (ekstrak/fraksi) uji yang dibutuhkan untuk mengurangi intensitas warna radikal DPPH sebesar 50% (Zou *et al.* 2004). Nilai IC<sub>50</sub> diperoleh dari suatu persamaan regresi linier yang menyatakan hubungan antara konsentrasi ekstrak uji dengan persen penangkapan radikal. Semakin kecil nilai IC<sub>50</sub>, semakin aktif ekstrak/fraksi (senyawa uji) tersebut sebagai antioksidan. Hasil penentuan aktivitas antioksidan fraksi n-heksan dari andaliman kering menunjukkan IC<sub>50</sub> yang lebih rendah dibandingkan dengan fraksi metanolnya, akan tetapi kemampuan aktivitas antioksidannya masih jauh lebih rendah dari standar asam askorbat atau vitamin C. Sedangkan aktivitas antioksidan dari FOSA masih belum dapat dianalisis dengan baik. Hal ini mungkin disebabkan oleh dinding penyalut ekstrak yang sangat kuat melindungi ekstrak sehingga tidak terjadi pelepasan senyawa aktifnya ke dalam larutan sampel. Oleh karena itu masih diperlukan metode persiapan sampel yang baik untuk memberikan waktu pelepasan senyawa aktif ke dalam larutan sampel sehingga aktivitas antioksidannya dapat terukur dengan baik.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian di atas, profil aroma sensori andaliman olahan dengan berbagai metode pengolahan yang dicirikan oleh atribut aroma kulit jeruk, mentol, *herb*, rempah-rempah, *woody*, jeruk, *green*, *floral*, dan *pungent*, andaliman segar (FA), andaliman kering (DA), ekstrak andaliman terenkapsulasi dengan maltodekstrin dan pati OSA (FOSA), dan ekstrak andaliman terenkapsulasi dengan maltodekstrin dan WPC (FWPC) tidak menunjukkan perbedaan intensitas aroma yang signifikan. Atribut *pungent*, *herb* dan *green* mendominasi aroma olahan andaliman yang dirasakan oleh panelis terlatih. Perbedaan yang signifikan diamati pada ekstrak andaliman (EA) dengan intensitas yang lebih tinggi dari semua atribut aroma. EA didominasi oleh aroma *pungent*, *green*, rempah-rempah, dan kulit jeruk.

Analisis lebih lanjut menggunakan PCA menggambarkan FA dengan aroma mentol, *pungent*, *green*, *floral*, dan jeruk, sedangkan EA dengan aroma *herb*, rempah-rempah, *woody*, dan kulit jeruk. DA, FOSA, dan FWPC terletak dekat tetapi tanpa korelasi yang kuat dengan atribut aroma apa pun. Pengolahan andaliman menghasilkan profil aroma yang hampir sama, sedangkan perbedaan yang mencolok terlihat pada produk proses ekstraksi (EA). Preferensi hedonis panelis menunjukkan bahwa FA lebih disukai daripada andaliman olahan lainnya. Penerapan metode pengolahan untuk mengawetkan andaliman mempengaruhi preferensi andaliman, kecuali untuk proses pengeringan, yang menghasilkan skor preferensi yang mendekati andaliman segar. Hasil andaliman kering yang dihasilkan menunjukkan bahwa pengeringan dapat mempertahankan aroma dan mempertahankan kesukaan terhadap andaliman. Proses enkapsulasi juga menunjukkan prospek untuk studi lebih lanjut karena skor penerimaannya lebih dekat dengan FA dan DA dan memiliki umur simpan yang lebih baik.

**D. STATUS LUARAN:** Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, hasil pengujian atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta mengunggah bukti dokumen ketercapaian luaran wajib dan luaran tambahan melalui BIMA

Luaran dari penelitian ini yaitu 1 buah publikasi pada jurnal internasional bereputasi Q1 yang sudah terbit *online* di jurnal Food Chemistry, 1 publikasi pada jurnal nasional bereputasi yaitu Jurnal Teknologi dan Industri Pangan, 1 buah paten paten terdaftar serta diseminasi pada seminar internasional, yaitu:

1. Changes in volatiles and aroma profile of andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) upon various drying techniques. Sigit Suharta, Dase Hunaefi, Christofora Hanny Wijaya. Food Chemistry 365 (2021) 130483. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130483>. ISSN 03088146, 18737072. H-INDEX 262. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814621014898> )

2. Analisis Senyawa Aktif Trigeminal Andaliman dengan Variasi Metode Pengeringan dengan Pendekatan GC-MS. Sigit Suharta, Dase Hunaefi, Christofora Hanny Wijaya, Yasuyuki Hashidoko. Vol. 33 No. 1 (2022): Jurnal Teknologi dan Industri Pangan. p-ISSN: 1979-7788 e-ISSN: 2087-751X. <https://doi.org/10.6066/jtip.2022.33.1.77>. <https://jurnal.ipb.ac.id/index.php/jtip/upcoming/view/40953>
3. Paten terdaftar dengan No Pendaftaran Paten P00202213519 berjudul Nanokapsul Ekstrak Andaliman (*Zanthoxylum Acanthopodium* DC.) dan Proses Pembuatannya

Selain itu, penelitian ini juga diharapkan untuk melengkapi penelitian terdahulu dan menjadi landasan untuk studi lanjut yang lebih komprehensif sehingga dapat menyiapkan potensi hilirisasi andaliman sebagai flavor fungsional secara profesional. Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat diperoleh produk hasil penelitian dengan TKT 2-3. Luaran lainnya adalah undangan sebagai pembicara undangan pada konferensi ilmiah nasional maupun internasional dan kuliah tamu yang diselenggarakan baik oleh unit kerja IPB, di luar IPB dan luar negeri, baik institusi formal maupun kemasyarakatan. Adapun undangan sebagai pembicara telah dilaksanakan pada kegiatan konferensi ilmiah internasional, yaitu 2022 Annual Conference & Exhibition: Functional Foods, Nutraceuticals, Natural Health Products, and Dietary Supplements, 2-5 Oktober 2022 di Istanbul, Turki.

**E. PERAN MITRA:** Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (untuk Penelitian Terapan, Penelitian Pengembangan, PTUPT, PPUPT serta KRUP). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui BIMA.

**F. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN:** Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

Kendala yang dihadapi dalam pelaksanaan penelitian secara umum adalah keterbatasan peralatan atau fasilitas laboratorium, khususnya peralatan untuk pembuatan nanoenkapsulasi yang menyebabkan kegiatan penelitian kurang maksimal. Hal ini telah diatasi dengan mencari alternatif fasilitas peralatan laboratorium di beberapa laboratorium.

**G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA:** Tuliskan dan uraikan rencana penelitian di tahun berikutnya berdasarkan indikator luaran yang telah dicapai, rencana realisasi luaran wajib yang dijanjikan dan tambahan (jika ada) di tahun berikutnya serta *roadmap* penelitian keseluruhan. Pada bagian ini diperbolehkan untuk melengkapi penjelasan dari setiap tahapan dalam metoda yang akan direncanakan termasuk jadwal berkaitan dengan strategi untuk mencapai luaran seperti yang telah dijanjikan dalam proposal. Jika diperlukan, penjelasan dapat juga dilengkapi dengan gambar, tabel, diagram, serta pustaka yang relevan. Jika laporan kemajuan merupakan laporan pelaksanaan tahun terakhir, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai.

**H. DAFTAR PUSTAKA:** Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan kemajuan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

1. Napitupulu FIR, Wijaya CH, Sulistiyani, Prangdimurti E, Akyla C, Yakhin LA, Indriyani S. 2020. Comparison of several processing methods in preserving the flavor properties of andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) fruit. *J Eng Technol Sci.* 52(3):399–412. doi:10.5614/j.eng.technol.sci.2020.52.3.7.
2. Suharta S, Hunaefi D, Wijaya CH. 2021. Changes in volatiles and aroma profile of andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) upon various drying techniques. *Food Chem.* 365:1–10.
3. Wijaya CH, Hadiprodjo IT, Apriyantono A. 2002. Identification of Volatile Compounds and Key Aroma



- Compounds of Andaliman Fruit (*Zanthoxylum acanthopodium*). *Food Sci Biotechnol.* 11(6):680–683.
4. Akyla C. 2014. Effect of spray drying encapsulation method on flavor quality of andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) powder.
  5. Rienoviar R, Setyaningsih D. 2018. Studi Senyawa Aroma Ekstrak Andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium*) dari Beberapa Pelarut Menggunakan Gas Chromatography - Mass Spectra (GC-MS). *War Ind Has Pertan.* 35(2):85. doi:10.32765/wartaihp.v35i2.4292.
  6. Krishnan S, Bhosale R, Singhal RS. 2005. Microencapsulation of cardamom oleoresin: Evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. *Carbohydr Polym.* 61(1):95–102. doi:10.1016/j.carbpol.2005.02.020.
  7. Saifullah M, Shishir MRI, Ferdowsi R, Tanver Rahman MR, Van Vuong Q. 2019. Micro and nano encapsulation, retention and controlled release of flavor and aroma compounds: A critical review. *Trends Food Sci Technol.* 86:230–251. doi:10.1016/j.tifs.2019.02.030.
  8. González E, Gómez-Caravaca AM, Giménez B, Cebrián R, Maqueda M, Parada J, Martínez-Férez A, Segura-Carretero A, Robert P. 2020. Role of maltodextrin and inulin as encapsulating agents on the protection of oleuropein during in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chem.* 310 November 2019:125976. doi:10.1016/j.foodchem.2019.125976.
  9. Sweedman MC, Tizzotti MJ, Schäfer C, Gilbert RG. 2013. Structure and physicochemical properties of octenyl succinic anhydride modified starches: A review. *Carbohydr Polym.* 92(1):905–920. doi:10.1016/j.carbpol.2012.09.040.
  10. Mohammadzadeh H, Koocheki A, Kadkhodae R, Razavi SMA. 2013. Physical and flow properties of d-limonene-in-water emulsions stabilized with whey protein concentrate and wild sage (*Salvia macrosiphon*) seed gum. *Food Res Int.* 53(1):312–318. doi:10.1016/j.foodres.2013.04.028.
  11. Carneiro HCF, Tonon R V., Grosso CRF, Hubinger MD. 2013. Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. *J Food Eng.* 115(4):443–451. doi:10.1016/j.jfoodeng.2012.03.033.
  12. Jiang L, Kubota K. 2004. Differences in the volatile components and their odor characteristics of green and ripe fruits and dried pericarp of Japanese pepper (*Xanthoxylum piperitum* DC.). *J Agric Food Chem.* 52(13):4197–4203. doi:10.1021/jf030663a.
  13. Yang X. 2008. Aroma constituents and alkylamides of red and green huajiao (*Zanthoxylum bungeanum* and *Zanthoxylum schinifolium*). *J Agric Food Chem.* 56(5):1689–1696. doi:10.1021/jf0728101.
  14. Sriwichai T, Sookwong P, Siddiqui MW, Sommano SR. 2019. Aromatic profiling of *Zanthoxylum myriacanthum* (makwhaen) essential oils from dried fruits using different initial drying techniques. *Ind Crops Prod.* 133 October 2018:284–291. doi:10.1016/j.indcrop.2019.03.031.
  15. Yang G, Chambers E, Wang H. 2021. Flavor lexicon development (in English and Chinese) and descriptive analysis of Sichuan pepper. *J Sens Stud.* 36(2). doi:10.1111/joss.12636.
  16. de Torres C, Díaz-Maroto MC, Hermosín-Gutiérrez I, Pérez-Coello MS. 2010. Effect of freeze-drying and oven-drying on volatiles and phenolics composition of grape skin. *Analytica Chimica Acta*, 660(1–2): 177–182.
  17. Kanza S, Silvianti R, Ramadhan DS, Cahayo M, Sukardi. 2021. Comparison of the separation process of crude citronella oil using vacuum fractionation distillation on a pilot plant scale and laboratory scale. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 733(1):1–9. doi:10.1088/1755-1315/733/1/012013.
  18. Silva EK, Azevedo VM, Cunha RL, Hubinger MD, Meireles MAA. 2016. Ultrasound-assisted encapsulation of annatto seed oil: Whey protein isolate versus modified starch. *Food Hydrocoll.* 56:71–83. doi:10.1016/j.foodhyd.2015.12.006.
  19. Koldaş S, Demirtas I, Ozen T, Demirci MA, Behçet L. 2015. Phytochemical screening, anticancer and antioxidant activities of *Origanum vulgare* L. ssp. *viride* (Boiss.) Hayek, a plant of traditional usage. *J Sci Food Agric.* 95(4):786–798. doi:10.1002/jsfa.6903.
  20. Baranauskiene R, Venskutonis PR, Dewettinck K, Verhé R. 2006. Properties of oregano (*Origanum vulgare* L.), citronella (*Cymbopogon nardus* G.) and marjoram (*Majorana hortensis* L.) flavors encapsulated into milk protein-based matrices. *Food Res Int.* 39(4):413–425. doi:10.1016/j.foodres.2005.09.005.
  21. Mabai P, Omolola A, Jideani AIO. 2018. Effect of Drying on Quality and Sensory Attributes of Lemongrass (*Cymbopogon citratus*) Tea. *J Food Res.* 7(2):68. doi:10.5539/jfr.v7n2p68.
  22. Prior RL, Wu X, dan Schaich K. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 55: 2698A-J
  23. Zou Y, Lu Y, dan Wei D. 2004. Antioxidant activity of Flavonoid-rich extract of *Hypericum perforatum* L in vitro. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 52: 5032-50
  24. Kim DK, Lee KW, Lee HJ, dan Lee CY. 2002. Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 50: 3713-3717