

PREDIKSI PERAN MIKROORGANISME TERHADAP PEMBENTUKAN SENYAWA AROMA DALAM PENGOLAHAN KOPI DENGAN PROSES KOMBINASI SIAF-GEOTERMAL

ZIKRINA ISTIGHFARAH



**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU PANGAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Prediksi Peran Mikroorganisme Terhadap Pembentukan Senyawa Aroma dalam Pengolahan Kopi dengan Proses Kombinasi SIAF-Geothermal” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2026

Zikrina Istighfarah
NIM F260123100

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RINGKASAN

ZIKRINA ISTIGHFARAH. Prediksi Peran Mikroorganisme Terhadap Pembentukan Senyawa Aroma dalam Pengolahan Kopi dengan Proses Kombinasi SIAF-Geotermal. Dibimbing oleh C. HANNY WIJAYA, LILIS NURAIDA, ERLIZA NOOR, dan WISNU ANANTA KUSUMA.

Keberlanjutan telah menjadi perhatian utama industri kopi saat ini. Panas berlebih dari instalasi energi asal geotermal (panas bumi) di PT. PGE Area Kamojang, Jawa Barat, dapat dimanfaatkan untuk pengeringan kopi. Panas tinggi ($50\pm 1^\circ\text{C}$) dan kelembapan rendah (RH 30%) dalam ruang pengering dengan geotermal membuat proses dehidrasi kopi terjadi sangat cepat. Metode ini dapat menjadi alternatif proses pengolahan kopi konvensional yang membutuhkan waktu pengolahan yang panjang dengan beban kerja yang tinggi serta bergantung terhadap keadaan cuaca. Akan tetapi, proses dehidrasi yang berlangsung sangat cepat ini mengakibatkan proses fermentasi tidak dapat berperan. Perubahan dan translokasi senyawa kimia dari lendir buah kopi ke dalam biji kopi hijau juga tidak optimal, sehingga kualitas sensori seduhan kopi geotermal kurang dapat diterima oleh *Q-grader*.

Upaya peningkatan kualitas sensori selanjutnya dilakukan dengan menerapkan *Self-Induced Anaerobic Fermentation* (SIAF) pada suhu ruang ($20\pm 1,5^\circ\text{C}$) tanpa penambahan air selama 5 hari sebelum pengeringan geotermal. SIAF adalah metode fermentasi yang baru mulai diaplikasikan dalam industri kopi. Oksigen dalam jumlah terbatas dimanfaatkan oleh sel bakteri dan tanaman kopi sehingga dihasilkan karbon dioksida yang mengakibatkan kondisi anaerobik dan metabolit sekunder yang dapat meningkatkan kualitas sensori seduhan kopi.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh prediksi peran mikroorganisme terhadap terbentuknya metabolit non-volatil yang bertanggung jawab atas pembentukan senyawa aroma dan kualitas sensori kopi dalam proses kombinasi SIAF-Geotermal. Pada tahap pertama, sampel kopi hasil SIAF diekstraksi untuk memperoleh DNA komunitas mikrob, yang selanjutnya dianalisis menggunakan *Shotgun Metagenomics. Open Reading Frames* (ORF) dari data sekuens diprediksi dan dianotasi berdasarkan basis data untuk mendapatkan kelimpahan dan keragaman spesies dan enzim mikrob. Pada tahap kedua, metabolit non-volatil hasil SIAF dianalisis menggunakan *Liquid Chromatography - Tandem Mass Spectrometry* (LC-MS/MS). Metabolit non-volatil dalam biji kopi tersebut adalah prekursor aroma kopi SIAF-Geotermal.

Pada tahap ketiga, senyawa volatil dalam sampel seduhan kopi dianalisis menggunakan *Solid Phase Microextraction - Gas Chromatography - Mass Spectrometry* (SPME-GC-MS). Seduhan kopi selanjutnya kopi dievaluasi oleh lima *Q-grader* dengan metode *Cupping Protocol and Form* dari *Specialty Coffee Association* (SCA) untuk mendapatkan nilai kualitas sensori kopi SIAF-Geotermal.

Pada tahap keempat, profil aroma yang diterima oleh *Q-grader* berdasarkan *Coffee Taster's Flavor Wheel* dari SCA dan senyawa volatil yang terdeteksi dicocokkan dengan referensi yang ada untuk memprediksi senyawa aroma aktif yang berdampak terhadap karakter kopi SIAF-Geotermal. Kopi yang diolah dengan proses konvensional menggunakan pengeringan matahari langsung digunakan sebagai kontrol kualitas sensori seduhan kopi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Tatumella* sp. JGM118, *Hanseniaspora uvarum*, dan *Leuconostoc pseudomesenteroides* adalah spesies yang mendominasi hasil fermentasi kopi dengan SIAF pada sampel kopi utuh dan kupas. Komunitas mikroba ini mensekresikan enzim seperti glikosida hidrolase (GH), transaminase, dan L-laktat dehidrogenase. Enzim-enzim tersebut mengatalisis metabolit non-volatil yang didominasi oleh asam klorogenat, asam amino, dan asam karboksilat. Kelimpahan relatif metabolit tersebut naik 7-10 kali lipat setelah proses SIAF. Metabolit-metabolit ini merupakan prekursor aroma kopi SIAF-Geothermal dalam proses penyangraian. Berdasarkan fenomena ini, dapat diprediksi bahwa komunitas mikroba dalam SIAF berkontribusi terhadap pembentukan prekursor aroma kopi SIAF-Geothermal.

Proses *pulping* memberikan perbedaan substrat awal proses SIAF antara sampel kopi utuh dan kopi kupas. Meskipun keragaman spesies komunitas mikroba dari kedua sampel sama, kelimpahan relatif keduanya berbeda. Hal ini membuat keragaman dan kelimpahan enzim mikroba kedua sampel berbeda, sehingga kelimpahan relatif asam klorogenat, gula-gula sederhana, dan asam karboksilat setelah SIAF lebih tinggi pada sampel kopi utuh dibandingkan dengan kopi kupas.

Kelimpahan kelompok volatil paling tinggi dalam seduhan kopi SIAF-Geothermal diraih oleh ester, sedangkan dalam kopi konvensional kelimpahan pirazin adalah yang tertinggi. Kopi utuh dan kupas SIAF-geothermal masing-masing mencapai 83,5 poin dan 82,65 poin untuk nilai kualitas kopi *specialty*. Skor tersebut meningkat 3,4 poin dan 1,15 poin dibandingkan dengan skor dari kopi kontrol dengan $p < 0,001$. Seduhan kopi SIAF-Geothermal juga memiliki atribut aroma positif yang lebih banyak dibandingkan kopi kontrol. Seduhan kopi kupas SIAF-Geothermal memberikan aroma *apple* dan *grape* yang diprediksi dipengaruhi oleh senyawa aroma aktif β -damascenone dan metil kaprat. Seduhan kopi utuh SIAF-Geothermal memberikan aroma *pineapple* yang diprediksi dihasilkan dari senyawa aroma aktif isobutil isobutirat dan butil butirat, *pear* dari β -damascenone, serta *grape* dari metil kaprat. Sementara itu, kopi kontrol memberikan aroma seperti *herbaceous* dan *unripe* yang diprediksi disebabkan oleh senyawa aroma aktif furfural asetat dan 1-furfuralpirol.

Pengolahan kopi SIAF-Geothermal menghasilkan kualitas seduhan kopi yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses konvensional maupun kopi yang hanya diolah dengan pengeringan geothermal. Kombinasi proses ini mempercepat proses pengolahan kopi tanpa mengurangi kualitasnya. Pengolahan kopi utuh SIAF-Geothermal disarankan menjadi metode terbaik karena menghasilkan skor *cupping* tertinggi dan keseimbangan senyawa volatil terbaik yang memberikan aroma positif lebih beragam.

Pola hubungan antara mikroorganisme, enzim, metabolit non-volatil, senyawa aroma aktif, dan atribut sensori yang berhasil diprediksi dapat menjadi ilmu dasar untuk pengembangan pengolahan kopi SIAF-Geothermal. Atribut aroma yang diinginkan dapat menjadi dasar pemilihan spesies kultur starter. Selanjutnya disarankan untuk melaksanakan studi lebih lanjut dengan metode metabolomik maupun olfaktometri untuk membuktikan pola hubungan yang sebenarnya.

Kata kunci: kopi SIAF-Geothermal, prekursor aroma, senyawa aroma aktif, *shotgun metagenomic*



SUMMARY

ZIKRINA ISTIGHFARAH. The Predicted Effect of Microorganisms on the Formation of Aroma Compounds in SIAF-Geothermal Coffee Processing. Supervised by C. HANNY WIJAYA, LILIS NURAIDA, ERLIZA NOOR, and WISNU ANANTA KUSUMA.

Sustainability has been a main concern in the coffee industry nowadays. Excess heat from geothermal energy installations can be utilized for the coffee drying process. The dry-house delivers high temperature ($50\pm 1^{\circ}\text{C}$) and low humidity (RH 30%) which accelerate the dehydration process. Geothermal coffee drying is an alternative process to address the limitations of conventional process which requires long processing times, high workloads, and is dependent on weather conditions. However, this rapid dehydration results in ineffective fermentation, metabolites change and translocation from the mucilage into the green beans. Consequently, the sensory quality of geothermal brewed coffee was unacceptable to Q-graders.

The sensory quality enhancement initiatives were established by implementing Self-Induced Anaerobic Fermentation (SIAF) at room temperature ($20\pm 1.5^{\circ}\text{C}$) without water addition for 5 days prior to geothermal drying. SIAF is a newly applied process in the coffee industry. The limited oxygen was used by microorganisms and coffee plant cells to produce carbon dioxide which induces the anaerobic condition. The resulting metabolites during SIAF are expected to improve the sensory quality of the resulting brewed coffee. Therefore, this study aimed to predict the role of microorganisms involved in the SIAF-Geothermal combination process on the formation of chemical compounds responsible for the coffee aroma and sensory quality.

Samples were extracted to obtain microbial DNA, which was then analyzed using shotgun metagenomics. The species and microbial enzymes were predicted and annotated by comparing the Open Reading Frames (ORF) from the sequence data to the databases. Furthermore, non-volatile metabolites in fermented green beans were analyzed using LC-MS/MS. The brewed coffee samples were assessed using SPME-GC-MS for volatile analysis. It was further evaluated by five Q-graders with SCA (Specialty Coffee Association) Cupping Protocol and Form method to get the sensory quality. The perceived aroma profiles based on the Coffee Taster's Flavor Wheel from SCA and the detected volatiles were matched to the existed references to identify the character impact compounds. Conventional processed coffees using direct sun drying were used for the control of sensory quality evaluation.

The results showed that *Tatumella* sp. JGM118, *Hanseniaspora uvarum*, and *Leuconostoc pseudomesenteroides* were the dominant species. This microbial community secreted enzymes, such as glycoside hydrolases (GH), transaminases, and L-lactate dehydrogenase. Moreover, these enzymes catalyzed the production of non-volatile metabolites in the coffee beans. The non-volatiles were dominated by chlorogenic acid, amino acids, and carboxylic acids. Its concentration increased 7 until 10-fold after SIAF. These metabolites were aroma precursors of the SIAF-Geothermal brewed coffee. Therefore, it was predicted that the microbial

community in SIAF contributed to the production of SIAF-Geothermal coffee aroma precursors.

The pulping process resulted in different initial substrates for SIAF. Although the microbial diversity of both samples, pulped and whole coffee after SIAF were similarly low, the relative abundances were varied. The microbial enzymes found in both samples also showed variations. The initial substrate in whole coffee was still intact. Therefore, the resulting metabolites such as chlorogenic acid, reducing sugars, and carboxylic acids were higher in the whole coffee sample after SIAF.

The SIAF-Geothermal coffees showed higher abundance of esters while the conventional coffees were higher in pyrazines. The whole and pulped SIAF-Geothermal coffee reached 83.5 points and 82.65 points, respectively. It increased 3.4 points and 1.15 points compared to the control with p value <0.001. The SIAF-Geothermal coffees were also perceived to have more positive notes than the conventional coffees. The pulped SIAF-Geothermal coffee brought apple note which could be affected by β -Damascenone, also grape note which could be from Methyl caprate. The whole geothermal coffee got pineapple note which probably from Isobutyl isobutyrate and Butyl butyrate, pear note probably from β -Damascenone, and grape note probably from Methyl caprate. Meanwhile, the conventional coffees gave herb-like note probably from Furfuryl acetate and under ripe note probably from 1-Furfurylpyrrole.

It was pronounced that SIAF-Geothermal coffee processing delivered higher coffee quality compared to the conventional process and to the geothermal processing without combination with SIAF. The combination of SIAF and geothermal drying accelerates the coffee processing without reducing the coffee sensory quality. Further, the whole SIAF-Geothermal coffee processing delivered the highest cupping score and the best overall balance.

The predicted networking patterns between microorganisms, enzymes, non-volatile metabolites, volatiles, and sensory attributes could be the basic knowledge for the development of SIAF-Geothermal coffee processing. The selection of starter cultures to improve the quality of SIAF-Geothermal coffee and bring out certain aroma characters could be based on this result. Further, it is recommended to conduct advance study using metabolomic and olfactometry method to get the real networking patterns.

Keywords: aroma precursor, character impact compound, SIAF-Geothermal coffee, shotgun metagenomic



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026¹
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PREDIKSI PERAN MIKROORGANISME TERHADAP PEMBENTUKAN SENYAWA AROMA DALAM PENGOLAHAN KOPI DENGAN PROSES KOMBINASI SIAF- GEOTERMAL

ZIKRINA ISTIGHFARAH

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Doktor Ilmu Pangan

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU PANGAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Intan Taufik, S.Si., M.Si., Ph.D.
- 2 Prof. Dr. Nancy Dewi Yuliana, S.T.P., M.Sc.

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Intan Taufik, S.Si., M.Si., Ph.D.
- 2 Prof. Dr. Nancy Dewi Yuliana, S.T.P., M.Sc.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tanggal Ujian:

Ujian Tertutup : 12 Juni 2026

Ujian Terbuka : 26 Juni 2026

Judul Disertasi : Prediksi Peran Mikroorganisme Terhadap Pembentukan Senyawa Aroma dalam Pengolahan Kopi dengan Proses Kombinasi SIAF-Geothermal

Nama : Zikrina Istighfarah

NIM : F2601231004

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Ir. C. Hanny Wijaya, M.Agr.



Pembimbing 2:

Prof. Dr. Ir. Lilis Nuraida, M.Sc.



Pembimbing 3:

Prof. Dr. Ir. Erliza Noor



Pembimbing 4:

Prof. Dr. Eng. Wisnu Ananta Kusuma, S.T., M.T.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Dr. Nur Wulandari, S.TP., M.Si

NIP 19741003 200003 2 001



Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi :

Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr

NIP 19610502 198603 1 002



Tanggal Pengesahan:

21 Juli 2026



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi yang berjudul “Prediksi Peran Mikroorganisme Terhadap Pembentukan Senyawa Aroma dalam Pengolahan Kopi dengan Proses Kombinasi SIAF-Geotermal”. Penulis dengan rasa syukur mempersembahkan karya ini kepada Ibu tercinta, Dr. Ir. Sri Wiyatiningsih, M.P. Penulisan disertasi ini tidak terlepas dari dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menghaturkan ucapan terima kasih kepada berbagai pihak sebagai berikut.

1. Komisi pembimbing Prof. Dr. Ir. C. Hanny Wijaya, M.Agr. sebagai ketua komisi pembimbing, Prof. Dr. Ir. Lilis Nuraida, M.Sc., Prof. Dr. Ir. Erliza Noor, Prof. Dr. Eng. Wisnu Ananta Kusuma, S.T., M.T. sebagai anggota komisi pembimbing, yang telah memberikan arahan, bimbingan dan pembelajaran kepada penulis dalam melaksanakan penelitian dan penyusunan disertasi ini hingga selesai dengan baik.
2. Pembimbing S1 Prof. Setiyo Gunawan, S.T., Ph.D., IPM. dan Hakun Wirawasista Aparamarta, S.T., M.MT., Ph.D di Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan pembimbing S2 Prof. Dr. EJ Eddy Smid dan Judith Wolkers-Rooijackers, MSc., PhD (*cand.*) di *Food Biotechnology*, Wageningen University and Research, yang telah memberi rekomendasi dan dasar ilmu pengetahuan yang bermanfaat untuk penyusunan disertasi ini.
3. Seluruh dosen dan staf Sekolah Pascasarjana dan Fakultas Teknik dan Teknologi terutama Program Studi Doktor Ilmu Pangan IPB University yang telah memberi ilmu, dukungan, serta memfasilitasi penulis selama studi.
4. Kementerian Keuangan yang telah memberikan Beasiswa Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP).
5. Geothermal Coffee Process (GCP) Group dan PT. Pertamina Geothermal Energy (PGE) Area Kamojang yang telah bersedia menyediakan sampel kopi, tempat, bahan dan alat penelitian ini.
6. Keluarga besar trah Tjiptohardjono yang telah mendoakan dan memberi dukungan selama studi.
7. Para sahabat yang menjadi teman diskusi akademik maupun kehidupan Ayu Putri Gitanjali Prayudani, S.TP, M.Si, Fenny Imelda, S.TP., M.Si., Fadhilah Nur'azizah, S.T.P., M.Si., Kindi Pyta Gani, ST., MSc., Dr. Muhammad Iqbal Maulana, Dr. Bramantyo Airlangga, ST, Dimas Tiar Wicaksono, ST. MSc., Aninda Tifani Puari, S.Si, M.Sc, Ummu Syauqah Al Musyahadah, S.Si, MSc., Aldin Alfian Hidayat, S.Si., M.Si., Andhika Vidian Nugraha, S.P., M.Si., M.Agung Zaim Adzkiya, S.Si., M.Si, Arif Prashadi Santosa, S.TP., M.Sc. dan lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juni 2026

Zikrina Istighfarah



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Ruang Lingkup	5
1.6 Kebaruan (<i>novelty</i>)	5
1.7 Hipotesis	5
1.8 Kerangka Pikir Penelitian.....	5
1.9 Ringkasan Alur Temuan Utama	6
II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Komposisi Awal Buah dan Biji Kopi.....	9
2.2 Pengolahan Kopi Pasca Panen.....	10
2.3 Fermentasi Kopi <i>In Vitro</i>	12
2.4 Kelimpahan, Keragaman dan Peran Enzim Komunitas Mikrob pada Proses SIAF	13
2.5 Pengeringan Geotermal	24
2.6 Perubahan Kandungan Senyawa Kimia Biji Kopi	24
2.7 Korelasi antara Komunitas Mikrob dengan Kandungan Senyawa Kimia Biji Kopi	26
2.8 Senyawa Kimia Pembentuk Sensasi Aroma Kopi.....	27
III PREDIKSI PERAN MIKOORGANISME DALAM SIAF TERHADAP PEMBENTUKAN PREKURSOR AROMA KOPI SIAF-GEOTERMAL... 28	28
3.1 Pendahuluan	28
3.2 Metode	29
3.3 Hasil dan Pembahasan	32
3.4 Simpulan.....	50
IV EFEK KOMBINASI SIAF DAN PENGERINGAN GEOTERMAL TERHADAP KUALITAS SENSORI KOPI SIAF-GEOTERMAL	51
4.1 Pendahuluan	51
4.2 Metode	52
4.3 Hasil dan Pembahasan	54
4.4 Simpulan.....	76
V PEMBAHASAN UMUM.....	78
5.1 Peran Mikroorganisme dalam Pengembangan Kualitas Sensori Kopi SIAF-Geotermal	78
5.2 Perbandingan Kualitas Sensori Kopi dari Hasil Pengolahan SIAF-Geotermal dan Konvensional	82
5.3 Potensi Aplikasi Hasil Penelitian	83
5.4 Kelebihan dan Keterbatasan Penelitian	84
VI SIMPULAN DAN SARAN.....	86
6.1 Simpulan.....	86

6.2	Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA		86
LAMPIRAN.....		99
GLOSARIUM.....		115
RIWAYAT HIDUP.....		116





DAFTAR TABEL

1	Tabel 1 Komposisi awal biji kopi Arabika	9
2	Tabel 2 Komposisi buah kopi Arabika dengan kematangan 99,7%	10
3	Tabel 3 Penelitian terdahulu mengenai pengolahan kopi dengan SIAF	15
4	Tabel 4 Karakteristik reads dan contigs yang dihasilkan dari <i>shotgun metagenomics</i>	33
5	Tabel 5 Enzim mikrob yang berkontribusi terhadap pembentukan prekursor aroma dalam biji kopi hijau hasil SIAF	45
6	Tabel 6 Senyawa volatil yang terdeteksi dalam sampel kopi kupas kontrol, kopi kupas SIAF-Geothermal, kopi utuh kontrol dan kopi utuh SIAF-Geothermal	56
7	Tabel 7 Evaluasi sensori dari kopi sampel kopi kupas kontrol, kopi kupas SIAF-Geothermal, kopi utuh kontrol dan kopi utuh SIAF-Geothermal oleh <i>Q-grader</i>	72
8	Tabel 8 Sensori atribut yang diterima oleh <i>Q-grader</i> dan prediksi senyawa aroma aktif dari kopi sampel kopi kupas kontrol, kopi kupas SIAF-Geothermal, kopi utuh kontrol dan kopi utuh SIAF-Geothermal	72
9	Tabel 9 Prediksi lengkap penentuan starter kultur berdasarkan atribut aroma yang diinginkan	82

DAFTAR GAMBAR

1	Gambar 1 Pengeringan kopi dengan geotermal menggunakan pipa pemanas yang berisi uap panas (HPHE) dalam <i>dry-house</i>	2
2	Gambar 2 Kerangka pikir penelitian	7
3	Gambar 3 Tahapan penelitian	8
4	Gambar 4 Bagan berbagai macam pengolahan kopi yang populer di Indonesia	12
5	Gambar 5 Grafik penurunan kadar air kopi dan aktivitas air selama pengeringan geotermal	24
6	Gambar 6 Alur pengolahan kopi setelah panen, SIAF, dan pengambilan sampel untuk analisis metagenomik dan metabolit non-volatil	30
7	Gambar 7 Keragaman dan kelimpahan mikrob dalam hasil SIAF kopi utuh (kiri) dan kopi kupas (kanan)	34
8	Gambar 8 Keanekaragaman mikrob pada kopi utuh (kiri) dan kopi kupas (kanan) hasil SIAF. Taksa menunjukkan spesies, genus, famili, ordo, kelas, dan domain dari komunitas mikrob.	37
9	Gambar 9 Prekursor aroma dalam biji kopi hijau hasil SIAF	39
10	Gambar 10 <i>Carbohydrate-active Enzymes</i> (Cazy) dalam hasil SIAF kopi utuh (kiri) dan kopi kupas (kanan)	42
11	Gambar 11 Perbandingan kelimpahan relatif senyawa aroma dalam sampel kopi kontrol dan SIAF-Geotermal	66
12	Gambar 12 Kelimpahan relatif dari kelompok senyawa volatil dari kopi kupas kontrol, kopi kupas SIAF-Geotermal, kopi utuh kontrol dan kopi utuh SIAF-Geotermal	68
13	Gambar 13 Prediksi hubungan mikrob dominan (Gambar 7), enzim (Gambar 10 dan Tabel 5), prekursor aroma (Gambar 9), serta kelompok volatil dan atribut aroma (Tabel 6) dalam pengolahan kopi SIAF-Geotermal secara ringkas. ^a GRAS, ^b berpotensi patogen, ^c QPS, ^d patogen tanaman	81

DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Perubahan suhu dalam tong selama proses SIAF 5 hari	99
2	Lampiran 2 Perubahan pH dalam tong selama proses SIAF 5 hari	99
3	Lampiran 3 Kelimpahan spesies dalam proses SIAF	100
4	Lampiran 4 Kelimpahan genus dalam proses SIAF	101
5	Lampiran 5 Kelimpahan famili dalam proses SIAF	101
6	Lampiran 6 Kelimpahan ordo dalam proses SIAF	102
7	Lampiran 7 Kelimpahan filum dalam proses SIAF	102
8	Lampiran 8 Kelimpahan metabolit non-volatil dalam biji kopi hijau setelah SIAF	102
9	Lampiran 9 Kelimpahan kelompok metabolit non-volatil dalam biji kopi hijau setelah SIAF	103
10	Lampiran 10 Indeks Keberagaman Shannon–Wiener (H')	104
11	Lampiran 11 Bray-curtis beta diversity (BC)	104
12	Lampiran 12 Kopi kupas (kiri) dan kopi utuh (kanan) setelah SIAF 5 hari	105
13	Lampiran 13 Biji kopi hijau yang telah dikeringbekukan dengan nitrogen cair untuk analisis metabolit non-volatil (kiri) dan biji kopi hijau setelah SIAF yang telah direndam dengan DNA shield dan dibekukan untuk analisis metagenomik	105
14	Lampiran 14 Rumus hitung Indeks Retensi Linier (LRI)	106
15	Lampiran 15 Kelompok senyawa volatil seduhan kopi	106
16	Lampiran 16 Kopi utuh (kiri) dan kopi kupas (kanan) setelah SIAF yang dikeringkan dengan geotermal dalam <i>dry house</i>	107
17	Lampiran 17 Kopi utuh (kiri) dan kopi kupas (kanan) kontrol yang langsung dikeringkan di bawah sinar matahari	107
18	Lampiran 18 Biji kopi hijau dan kopi sangrai dari sampel kopi kupas kontrol (kiri atas), kopi kupas SIAF-Geotermal (kanan atas), kopi utuh kontrol (kiri bawah), dan kopi utuh SIAF-Geotermal (kanan bawah).	108
19	Lampiran 19 Persiapan sampel seduhan kopi untuk analisis senyawa volatil dengan SPME-GC-MS	109
20	Lampiran 20 Surat lolos kode etik	110
21	Lampiran 21 Hasil perhitungan OAV prediksi senyawa aroma aktif	111
22	Lampiran 22 Kromatogram LC-MS/MS untuk kopi sebelum SIAF, dan kopi kupas serta kopi utuh setelah SIAF	113
23	Lampiran 23 Kromatogram SPME-GCMS sampel kopi	114

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.