



Forum Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung



Forum Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

Orasi Ilmiah Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

**Profesor Pingkan Aditiawati**

**EKSPLORASI POTENSI MIKROBA LOKAL:  
DARI LABORATORIUM HINGGA  
PENIKMAT KOPI**

23 November 2019  
Aula Barat Institut Teknologi Bandung

**Orasi Ilmiah Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung**  
23 November 2019

**Profesor Pingkan Aditiawati**

**EKSPLORASI POTENSI MIKROBA LOKAL:  
DARI LABORATORIUM HINGGA  
PENIKMAT KOPI**



Forum Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

Hak cipta ada pada penulis

Judul: EKSPLOKASI POTENSI MIKROBA LOKAL:  
DARI LABORATORIUM HINGGA PENIKMAT KOPI  
Disampaikan pada sidang terbuka Forum Guru Besar ITB,  
tanggal 23 November 2019.

**Hak Cipta dilindungi undang-undang.**

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

**UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA**

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama **7 (tujuh) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)**.
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama **5 (lima) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)**.

Hak Cipta ada pada penulis  
Data katalog dalam terbitan

Pingkan Aditiawati  
EKSPLOKASI POTENSI MIKROBA LOKAL:  
DARI LABORATORIUM HINGGA PENIKMAT KOPI  
Disunting oleh Pingkan Aditiawati

Bandung: Forum Guru Besar ITB, 2019  
vi+64 h., 17,5 x 25 cm  
**ISBN 978-602-6624-35-2**

1. Bioteknologi Mikroba 1. Pingkan Aditiawati

**KATA PENGANTAR**

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT Yang Maha Pengasih Lagi Maha Penyayang, atas berkat dan rahmatNya untuk kita semua sehingga kami dapat menyelesaikan naskah orasi ilmiah ini.

Penghargaan, rasa hormat, serta terima kasih kami sampaikan kepada Forum Guru Besar (FGB) Institut Teknologi Bandung, atas kesempatan yang diberikan untuk menyampaikan orasi ilmiah ini pada sidang terbuka Forum Guru Besar ITB.

Orasi Ilmiah ini mengangkat tema eksplorasi mikroba potensi mikroba lokal yang ada di Indonesia yang prosesnya dimulai dari laboratorium hingga dapat memberikan manfaat bagi masyarakat, mengingat Indonesia memiliki potensi mikroorganisme yang kaya namun pemanfaatannya belum optimum. Pembahasan pada orasi ini selanjutnya akan memfokuskan mengenai proses dan manfaat standarisasi makanan fermentasi khas Indonesia, yang sudah ada sejak jaman dahulu. Selain makanan fermentasi khas Indonesia, pada orasi ilmiah ini akan dibahas lebih jauh mengenai potensi pemanfaatan mikroba lokal untuk meningkatkan kualitas kopi yang ada di Indonesia dengan pendekatan fermentasi. Hasil penelitian yang dilakukan kemudian dievaluasi potensi dampak yang diberikan terhadap masyarakat, khususnya komunitas petani kopi.

Semoga dengan tulisan dan orasi ilmiah ini dapat memberikan

informasi dan pengetahuan mengenai potensi dan pemanfaatan mikroba sebagai salah satu strategi mencapai ketahanan pangan, serta dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Bandung, 23 November 2019

**Pingkan Aditiawati**

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
POTENSI MIKROBA LOKAL BAGI MANUSIA .....	1
STANDARISASI MAKANAN FERMENTASI LOKAL .....	10
STANDARISASI FERMENTASI KOPI INDONESIA .....	18
DAMPAK PENELITIAN TERHADAP MASYARAKAT .....	40
PENUTUP .....	45
UCAPAN TERIMA KASIH .....	46
DAFTAR PUSTAKA .....	49
CURRICULUM VITAE .....	55

## **EKSPLORASI POTENSI MIKROBA LOKAL: DARI LABORATORIUM HINGGA PENIKMAT KOPI**

### **I. POTENSI MIKROBA LOKAL BAGI MANUSIA**

Mikroorganisme atau mikroba merupakan salah satu sumber daya alami penting yang dimiliki oleh Indonesia. Akan tetapi potensi mikroba Indonesia belum mendapat perhatian khusus oleh berbagai kalangan dan masih dianggap sebelah mata bagi sebagian orang dan industri karena wujudnya yang tidak terlihat. Padahal peran mikroba dalam kehidupan masyarakat Indonesia telah dirasakan sejak bertahun-tahun yang lalu. Hanya saja pengetahuan masyarakat belum cukup untuk mengetahui peran, potensi, dan cara pemanfaatan mikroba. Pemahaman tentang mikroba di dunia sendiri baru dimulai setelah adanya penemuan mikroskop. Potensi besar ini kemudian yang kami coba gali lebih dalam lagi melalui studi yang telah dilakukan baik skala lab maupun skala yang lebih luas lagi. Berdasarkan rekam jejak penelitian yang telah dilakukan, membuktikan bahwa Indonesia memiliki keragaman mikroba tinggi yang memiliki potensi bagi kehidupan manusia. Peran dari mikroba yang telah dipelajari memiliki potensi untuk mengatasi permasalahan lingkungan, sumber energi, pengembangan biomaterial, pengembangan teknologi medis dan kosmetik, hingga peningkatan produktifitas budidaya agro-silvo-fishery. Uraian penelitian dan dampaknya terhadap kelima tujuan tersebut adalah sebagai berikut:

## 1. Permasalahan lingkungan

Permasalahan lingkungan merupakan salah satu langkah penulis dalam menjelajahi dunia mikroba dan menggali potensinya. Bermula dari banyaknya lingkungan yang tercemar limbah baik limbah dari aktifitas perminyakan dan pertambangan maupun limbah industri, seperti tekstil. Kerusakan lingkungan ini kemudian menjadi perhatian karena penanganan kimia yang telah dilakukan dianggap tidak cukup dan memberikan dampak negatif terhadap lingkungan serta kesehatan manusia.

Kontaminasi tanah oleh minyak bumi merupakan hal yang sering terjadi pada aktivitas industri minyak, sebagai akibat dari aktivitas transportasi, pengolahan, dan eksplorasi. Tanah terkontaminasi minyak bumi, dapat berdampak kepada kematian atau kerusakan fisik terhadap biota tanah, dan kerusakan habitat, sehingga perlu dilakukan upaya pemulihan. Proses bioremediasi merupakan salah satu teknologi yang sering digunakan dalam upaya pemulihan tanah terkontaminasi minyak bumi. Proses biodegradasi minyak bumi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu komposisi dan konsentrasi fraksi minyak bumi, bakteri petrofilik yang melakukan biodegradasi, faktor lingkungan selama proses biodegradasi, dan ketersediaan nutrient utama nitrogen (N) dan fosfat (P). Penambahan pupuk N yang dilakukan pada proses bioremediasi dapat meningkatkan biaya, sedangkan penggunaan pupuk P sering tidak efektif karena terikat

dengan oksida seperti Ca, Fe, dan Al yang ada di tanah.

Minyak bumi terdiri atas empat fraksi yaitu jenuh, aromatik, resin, dan aspal yang memiliki tingkat biodegradabilitas berbeda. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, telah teridentifikasi beberapa mikroorganisme yang berasal dari tanah dan sumber cemaran lainnya dengan aktifitas degradasi senyawa hidrokarbon bervariasi (Aditiawati & Kamarisima, 2015; Munawar dkk, 2012; Irawan, 2002; Pikoli dkk, 2000). Dimulai dari fraksi ringan, yaitu fraksi rantai jenuh dan aromatik, hingga fraksi berat yaitu resin dan aspaltik. Peran mikroorganisme tersebut selanjutnya diujikan pada sebuah sistem skala lab dan pilot dengan menggunakan Teknik "land farming" dan "mikrokosmos". Pengembangan bioremediasi ini kemudian diapresiasi oleh ASEAN ENGINEERING AWARD pada tahun 2001.

Selanjutnya penelitian dilanjutkan dan didapatkan bakteri pendegradasi hidrokarbon yang memiliki kemampuan tambahan seperti menambat N dan melarutkan P. Batas selesai proses bioremediasi ditandai dengan kriteria TPH <1%, akan tetapi pada kondisi ini tanah masih mengandung sejumlah senyawa hidrokarbon yang bersifat toksik dengan konsentrasi di atas *Tolerable Daily Intake* (TDI). Sehingga perlu diturunkan hingga konsentrasi aman (<TDI) yang dicapai pada konsentrasi TPH <0,01%. Konsorsium bakteri yang terdiri atas *Mycobacterium* sp-1, *Pseudomonas* sp-3, *Micrococcus* sp-7,

*Pseudomonas* sp-1, dan *Pseudomonas* sp-6 mampu menurunkan *total petroleum hydrocarbon* (TPH) dari 15% hingga 1% dalam waktu 112 hari. Keunikan dari masing-masing bakteri dalam konsorsium adalah *Pseudomonas* sp-2 mendegradasi aspal menjadi fraksi jenuh dengan laju 1,98 mg/hari; *Pseudomonas* sp-6 mendegradasi aspal menjadi aromatik dengan laju 2,64 mg/hari; *Micrococcus* sp-7 mendegradasi resin menjadi fraksi aromatik dengan laju 3,24 mg/hari; serta *Mycobacterium* sp-1 mendegradasi fraksi jenuh dengan laju 10,68 mg/hari. Laju degradasi masing-masing fraksi oleh setiap bakteri tersebut menunjukkan bahwa laju degradasi aspal, resin, aromatik, dan fraksi jenuh secara berurutan meningkat hingga 10 kali, 7 kali, 4 kali, dan 5 kali dibandingkan literatur penelitian sejenis. Kinerja konsorsium dalam mendegradasi fraksi minyak, menambat N, dan melarutkan P pada proses bioremediasi dapat ditingkatkan dengan mengatur kondisi lingkungan yang meliputi pH tanah sebesar 6,5 dan dilakukan aerasi dengan laju 1,5 liter/jam/m<sup>3</sup> serta kelembapan dijaga pada 60% (Munawar dkk, 2012).

Selain limbah hidrokarbon, kami juga melakukan studi dan eksplorasi mikroorganisme yang mampu mendegradasi senyawa AZO. Senyawa AZO merupakan senyawa kimia yang umumnya terdapat pada pewarna tekstil. Pengolahan limbah industri tekstil yang tidak baik di Indonesia menyebabkan lahan pertanian atau perumahan penduduk yang berada di sekitar pabrik tekstil menjadi rusak dan

tercemar. Penelitian yang telah dilakukan pada tahun 2014-2015 berhasil mendapatkan isolat mikroba yang memiliki kemampuan untuk mendegradasi senyawa AZO. Hasil dari penelitian ini selanjutnya dimanfaatkan dalam bentuk pengabdian kepada masyarakat yang tinggal di sekitar daerah Rancaekek yang terkena dampak pencemaran limbah tekstil.

## 2. Sumber energi

Keberadaan mikroorganisme yang ada di Indonesia juga berperan sebagai sumber energi. Peran mikroba dengan kemampuan untuk mendegradasi minyak bumi dapat digunakan sebagai agen untuk meningkatkan perolehan minyak bumi yang selanjutnya dikenal sebagai *Microbial Enhanced Oil Recovery* (MEOR). Teknologi ini dinilai lebih murah untuk melakukan perolehan minyak yang terebak dalam pori kapiler dari batuan atau area-area yang tidak terjangkau oleh metode *Enhanced oil Recovery* (EOR) lainnya. Mikroba dapat memproduksi sejumlah produk hasil metabolisme dan aktivitas metabolisme hidrokarbon yang sangat berpotensi dalam *oil recovery*. Teknologi pengembangan aplikasi MEOR yang telah dan masih dikembangkan di SITH ITB meliputi: (1) isolasi dan karakterisasi bakteri indigen sumur minyak bumi yang mampu menghasilkan surfaktan dan/atau mendegradasi fraksi berat, (2) optimasi nutrisi yang mampu menstimulasi pertumbuhan dan aktivitas mikroba indigen yang ada pada sumur minyak bumi, (3) pengembangan

*microbially enhanced waterflooding* (Purwasena dkk, 2014; Astuti dkk, 2014; Ariadji dkk, 2017).

Selain berperan dalam eksplorasi minyak bumi, mikroba lokal juga memiliki potensi yang dapat dimanfaatkan untuk memperoleh energi dari batu bara. Energi dari batu bara salah satunya adalah *Coal Bed methane* atau yang dikenal dengan Gas Metana Batubara (selanjutnya akan disebut sebagai GMB), merupakan gas metana yang dihasilkan selama proses terbentuknya batubara dan masih terperangkap di dalam lapisan batubara. Gas yang terkandung di dalam GMB tidak murni hanya gas metana yang merupakan gas hidrokarbon ringan, tetapi GMB juga mengandung gas karbon dioksida dan sedikit gas hidrokarbon berat seperti propana dan butana. Keberadaan gas lain di dalam produk mentah GMB merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas dari GMB. Peningkatan kualitas batu bara yang dikembangkan hingga saat ini meliputi: (1) stimulasi proses pembentukan gas metana secara biogenik, (2) Biosolubilisasi batu bara dengan memanfaatkan mikroba indigen, (3) biodesulfurisasi batu bara dengan memanfaatkan mikroba indigen pada lingkungan pertambangan batu bara (Sugoro dkk, 2009; Aditiawati dkk, 2011; Aditiawati dkk, 2013; Pikoli dkk, 2013; Pikoli dkk, 2014).

### **3. Peningkatan produktifitas budidaya perikanan, pertanian, dan hasil hutan**

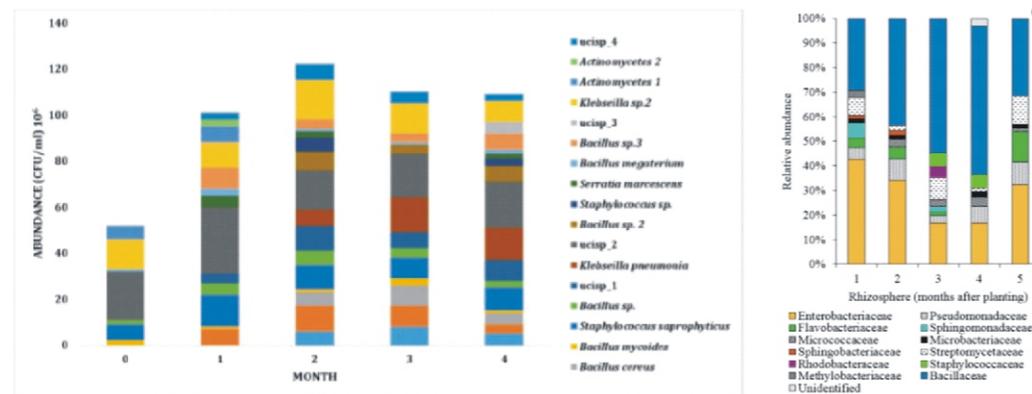
Keberadaan mikroba pada lingkungan juga berperan sebagai

penyedia nutrisi dan pengendali penyakit bagi organisme lainnya, seperti hewan dan tumbuhan. Akan tetapi mikroba yang bertindak sebagai penyedia nutrisi bagi organisme lainnya tersedia dalam jumlah sedikit dan terbatas di lingkungan. Pada lingkungan perairan ketersediaan bakteri yang berperan dalam siklus nitrogen berperan penting bagi industri akuakultur, terutama pada budidaya udang.

Di Indonesia hampir semua budidaya udang dilakukan dengan metode ekstensif. Sebagai dampaknya hasil budidaya tidak optimum dan sulit untuk diprediksi akibat dari kualitas air buruk, rentan terhadap penyakit, dan rentan terhadap predasi. Pengendalian kualitas air pada budidaya udang menjadi hal penting yang menjadi perhatian, karena adanya akumulasi ammonia dan nitrit yang bersifat toksik untuk udang. Kedua senyawa ini secara alami dapat diubah menjadi senyawa lain yang bersifat tidak toksik seperti gas nitrogen. Perubahan nitrit dan ammonia menjadi gas nitrogen dapat dilakukan oleh bakteri yang dikenal sebagai bakteri nitrifikasi dan annamox. Kedua bakteri ini secara alami terdapat pada perairan akan tetapi jumlahnya terbatas. Potensi bakteri nitrifikasi untuk meningkatkan produktifitas budidaya udang dapat dibuktikan melalui sistem *zero water discharge* (ZWD). Setelah aplikasi bakteri nitrifikasi pertumbuhan udang teramati lebih baik dan lebih konsisten ditinjau dari laju pertumbuhan, laju ketahanan, dan produksi biomasa. Sehingga sistem yang dikembangkan ini dapat berkontribusi besar

pada industri budidaya udang ataupun komoditas akuakultur lainnya (Suantika dkk, 2009; Suantika dkk, 2015).

Pada bidang pertanian dan kehutanan, mikroba juga berperan penting pada siklus dan ketersediaan nutrisi di tanah. Berdasarkan hasil isolasi dan karakterisasi mikroba tanah ditemukan mikroba yang dapat menstimulasi pertumbuhan tanaman dan dikenal sebagai PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*). Bakteri PGPR dapat menghasilkan senyawa yang dapat menstimulasi pertumbuhan tanaman (seperti IAA) dan juga nutrisi lainnya yang dibutuhkan untuk pertumbuhan, seperti fiksasi nitrogen, penyedia mineral, dan lainnya. Keunikan populasi mikroba pada tanah juga teramati pada jenis kultivar yang berbeda seperti pada ubi cilembu var cilembu dan ubi cilembu var Rancing (Nasution dkk, 2017; Tangapo dkk, 2018).



**Gambar 1.** Perbedaan komunitas bakteri rhizosphere pada ubi cilembu var Rancing (kiri) dan var Cilembu (Kanan) (Nasution dkk, 2017; Tangapo dkk, 2018)

#### 4. Pengembangan medis dan kosmetik

Peran mikroba tentunya tidak lepas dari potensinya di dunia kesehatan dan kosmetik. Beberapa produk makanan fermentasi dikenal karena memiliki bakteri probiotik yang bermanfaat bagi kesehatan manusia. Secara alami, bakteri probiotik terdapat pada saluran pencernaan manusia, akan tetapi pengaruh dari asupan makanan setiap orang berdampak pada jenis dan jumlah bakteri probiotik yang ada pada tubuh. Dengan konsumsi makanan fermentasi maka jumlah dan variasi bakteri probiotik di dalam tubuh manusia dapat terjaga. Beberapa bakteri probiotik yang dapat menghasilkan senyawa anti mikroba untuk menghambat bakteri lainnya, terutama bakteri penyebab penyakit (patogen).

Selama proses fermentasi, mikroba tidak hanya mampu menghasilkan senyawa anti mikroba tetapi juga senyawa aktif lainnya yang memiliki manfaat bagi kesehatan manusia. Hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat mikroba yang mampu menghasilkan senyawa isoflavon, *Poly Glutamic Acid* (PGA), dan senyawa aktif lainnya yang dapat meningkatkan kesehatan kulit manusia dan dapat dimanfaatkan sebagai kosmetik (Devantheni & Aditiawati, 2013; Aditiawati & Sukma, 2012;).

## II. STANDARISASI MAKANAN FERMENTASI LOKAL

Kelimpahan sumber daya alam dan kekayaan budaya kuliner di Indonesia tidak menjadikan Indonesia menjadi negara yang berkedaulatan pangan. Potensi dan pemanfaatan sumber daya alam Indonesia masih belum terekplorasi dengan maksimal. Kondisi tersebut menyebabkan minimnya pengetahuan dan pengembangan mengenai sumber bahan pangan yang berkualitas dan terjangkau. Kekayaan budaya kuliner Bangsa Indonesia, terutama makanan fermentasi, yang masih belum terstandarisasi dengan baik juga menyebabkan kurangnya pengetahuan masyarakat tentang variasi makanan Indonesia. Sebagai bangsa yang memiliki kekayaan budaya dan sumber daya melimpah, sepatutnya Indonesia dapat memenuhi kebutuhan pangan dan gizi rakyatnya (Aditiawati, 2015).

Fermentasi makanan dari sudut pandang mikrobiologi adalah proses produksi makanan yang memanfaatkan peran mikroorganisme sebagai agen pemroses. Fermentasi melibatkan aktivitas enzimatik yang membantu proses penyederhanaan komponen kompleks terutama karbohidrat, protein, dan lemak. Enzim amilase menghidrolisis polisakarida menjadi monosakarida, asam, alkohol, dan karbon dioksida. Enzim protease menghidrolisis protein menjadi peptida dan asam amino. Enzim lipase menghidrolisis lemak menjadi asam lemak dan gliserol. Asam, alkohol, dan karbon dioksida merupakan senyawa yang berperan dalam menekan pertumbuhan mikroorganisme patogen, memberi

citarasa, tekstur, dan aroma yang khas pada makanan fermentasi. Beberapa proses fermentasi makanan merupakan proses pembentukan senyawa kompleks dari senyawa sederhana. Contohnya adalah pembentukan nata pada produk nata de coco dan kombucha (Aditiawati, 2015).

### Proses Fermentasi dan Faktor yang Mempengaruhi

Fermentasi makanan dapat terjadi secara alami ataupun terkontrol. Fermentasi alami melibatkan mikroorganisme asli yang terdapat pada makanan. Contoh produk makanan hasil fermentasi alami adalah tahu sumedang, jamu beras kencur, dan terasi. Produk-produk tersebut mengalami fermentasi tanpa adanya tambahan mikroorganisme dari luar, melainkan dari mikroorganisme yang secara alami berada pada bahan bakunya. Fermentasi terkontrol merupakan fermentasi yang dilakukan dengan menambahkan mikroorganisme dominan yang dapat mengendalikan seluruh proses fermentasi. Contoh produk fermentasi terkontrol adalah yoghurt, nata de coco, dan wine. Proses fermentasi umumnya berlangsung pada kondisi ruang (temperatur, tekanan udara, dan kelembaban udara) selama beberapa jam atau beberapa hari. Faktor yang mempengaruhi proses fermentasi secara umum adalah bahan dasar, mikroorganisme yang berperan, kondisi lingkungan, dan proses yang dilakukan (Aditiawati, 2015).

Mikroorganisme yang berperan dalam proses fermentasi makanan dapat berupa mikroorganisme alami bahan pangan (pada proses

fermentasi alami), maupun yang sengaja ditambahkan selama proses fermentasi (pada fermentasi terkontrol). Mikroorganisme tersebut berperan dalam mengurai substansi kompleks pada makanan menjadi substansi yang lebih sederhana. Mikroorganisme yang berperan dalam proses fermentasi makanan terbagi menjadi tiga golongan, yakni (Aditiawati, 2015):

- **Bakteri.** Contoh bakteri yang berperan adalah *Lactobacillus bulgaricus* pada produksi yoghurt dan *Acetobacter xylinum* pada pembentukan nata.
- **Kapang.** Contoh kapang adalah *Rhizopus oligosporus* yang berperan dalam pembentukan tempe.
- **Ragi.** Contoh ragi adalah *Saccharomyces cerevisiae* pada pembentukan wine.

Mikroorganisme yang berperan dalam proses fermentasi makanan harus memenuhi persyaratan berikut ini (Aditiawati, 2015):

1. **Murni.** Mikroorganisme yang berperan harus merupakan mikroorganisme yang murni, artinya merupakan satu spesies yang telah diketahui pasti sifatnya dan peranan kuncinya dalam seluruh proses fermentasi.
2. **Stabil.** Mikroorganisme harus memiliki aktivitas fisiologis yang stabil agar menghasilkan produk makanan fermentasi yang stabil. Aktivitas fisiologis yang berlangsung tidak boleh mudah berubah akibat

perubahan kondisi lingkungan.

3. **Unggul.** Mikroorganisme yang unggul artinya cepat beradaptasi, dapat memberikan hasil yang besar, serta sifat unggul yang dapat dipertahankan. kriteria ini penting karena mikroorganisme yang berperan dalam produksi makanan fermentasi harus terpilih agar menghasilkan produk yang terstandar kualitasnya.
4. **Bukan mikroorganisme penyebab penyakit.** Mikroorganisme yang mampu menghasilkan senyawa atau aktivitas yang berbahaya bagi hewan dan manusia tidak disarankan digunakan dalam produksi makanan fermentasi.

Begitu banyak produk fermentasi yang dibuat oleh penduduk di berbagai belahan dunia. Sebagian besar dari terciptanya produk fermentasi berawal dari ketidaksengajaan dan sebagai salah satu cara untuk pengawetan. Proses fermentasi dibagi dua berdasarkan kemunculan mikrobanya: spontan dan buatan. Fermentasi spontan adalah fermentasi yang terjadi tanpa menambahkan mikroba apapun karena mikroba sudah terdapat di bagian produk yang dibuat. Mikroba ini disebut mikroba indigen yang artinya bahan baku produk fermentasi itulah habitat aslinya. Fermentasi buatan adalah fermentasi yang terjadi karena penambahan secara sengaja mikroba ke bahan baku produk fermentasi. Dahulu, hampir semua fermentasi adalah spontan. Saat ini,

fermentasi spontan tetap dipertahankan, walau banyak pula penelitian yang mengisolasi mikroba dari produk fermentasi spontan lalu mengulang proses fermentasinya secara buatan.

### **Manfaat standarisasi makanan untuk ketahanan pangan**

Tujuan besar standarisasi makanan fermentasi adalah tercapainya baku mutu makanan fermentasi yang berkelanjutan; baik dari bahan baku, teknik dan kondisi produksi, mikroorganisme pengendali, perlakuan pasca produksi, dan nutrisi yang terkandung. Selain itu, terdapat tujuan lain yang dapat dicapai dengan standarisasi makanan fermentasi khas Indonesia, yakni (Aditiawati, 2015):

1. Memanfaatkan hasil panen yang tidak dapat dikonsumsi secara langsung dalam kondisi segar.
2. Meningkatkan nutrisi dan cita rasa bahan pangan.
3. Makanan fermentasi dapat meningkatkan daya jangkau masyarakat terhadap makanan bergizi tinggi sebab harganya yang relatif lebih murah dan dapat diproduksi dalam skala rumah tangga.
4. Kegiatan produksi makanan fermentasi dalam skala rumah tangga yang dilakukan secara massal dapat meningkatkan kesejahteraan dan kemandirian ekonomi serta mengurangi angka pengangguran bangsa.
5. Produksi makanan fermentasi dapat meningkatkan kemandirian bangsa terhadap bahan pangan yang dikonsumsi dan

menjaga kekayaan budaya kuliner bangsa

6. Konsumsi makanan fermentasi dari bahan alam lokal mengurangi resiko terserang penyakit yang disebabkan oleh ketidaksegaran bahan impor, penyakit dari negara lain, serta zat racun dari makanan cepat saji.
7. Kegiatan produksi dan konsumsi makanan fermentasi mampu membantu negara dalam mencapai target MDG 2015 poin pertama, yakni mengentaskan kelaparan dan gizi buruk (Bapenas, 2010)
8. Produksi makanan fermentasi dapat mengantisipasi dampak buruk dari perubahan musim, pola pertanian, kondisi alam, ekosistem, dan hasil panen.
9. Produksi makanan fermentasi merupakan solusi strategis terhadap krisis ketahanan dan kedaulatan pangan Indonesia.
10. Standarisasi makanan fermentasi memudahkan produksi makanan fermentasi secara industri massal yang terstandarkan kualitas dan kuantitasnya.

### **Metode standarisasi makanan**

Standarisasi makanan fermentasi secara umum terdiri dari tiga langkah utama seperti yang digambarkan pada gambar 2. Makanan fermentasi diambil sampelnya dan dilarutkan dalam larutan fisiologis. Larutan kemudian diencerkan dengan larutan fisiologis berseri hingga pengenceran tertentu. Pengenceran tersebut kemudian dikulturkan



Gambar 2. Skema metode standarisasi makanan fermentasi (Aditiawati, 2015)

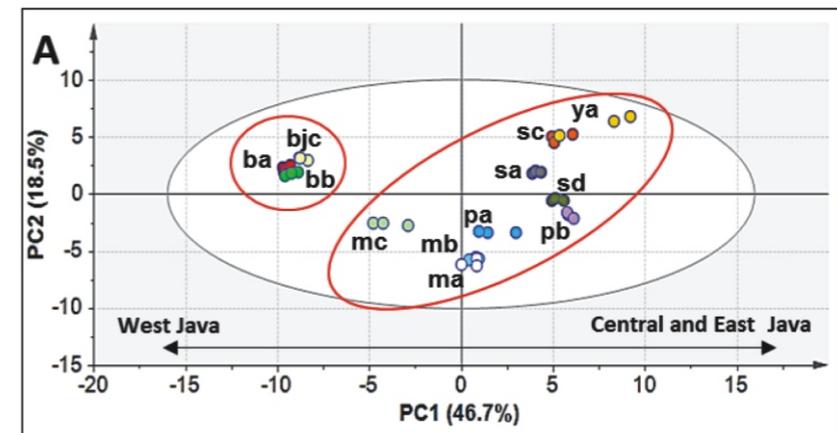
Mikroorganisme yang diperoleh dari medium tersebut kemudian dibiakkan dalam medium pertumbuhan. Mikroorganisme yang telah tumbuh kemudian digunakan sebagai bibit dalam pembuatan makanan fermentasi, dan dilakukan optimasi kondisi lingkungan. Kondisi fermentasi tersebut dioptimalkan untuk memperoleh makanan fermentasi yang memiliki rasa, nutrisi, tekstur, dan aroma, serta kualitas yang sama. Terdapat beberapa makanan fermentasi khas Indonesia yang telah distandarisasi, seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Makanan fermentasi khas Indonesia yang telah terstandarisasi di SITH ITB (Aditiawati, 2015)

### Standarisasi dan karakterisasi beberapa tempe khas Indonesia

Diantara beberapa jenis makanan fermentasi khas Indonesia yang telah distandarisasi, penelitian dengan tempe dilakukan lebih dalam dengan menggunakan pendekatan metabolomik. Tempe merupakan produk fermentasi kacang kedelai oleh *Rhizopus* sp. Pembuatan tempe di Indonesia dilakukan oleh pengrajin tempe dengan teknik yang diturunkan dari generasi ke generasi. Berdasarkan pengetahuan tersebut maka diduga setiap pengrajin dapat menghasilkan produk akhir dengan karakteristik yang berbeda-beda. Melalui studi karakter tempe khas yang dibuat di daerah berbeda dengan teknik yang berbeda dapat memberi informasi penting untuk pengembangan industri tempe di masa yang akan datang. Berdasarkan hasil studi metabolomik yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa setiap daerah memiliki profil metabolom yang unik.



Gambar 4. Pengelompokan tempe yang diproduksi di Pulau Jawa berdasarkan komposisi metabolomnya (b: Bandung, m: Magelang, p: Purowkerto, s: Surabaya, y: Yogyakarta) (Kadar dkk, 2018)

Pada hasil penelitian didapatkan bahwa setiap daerah memiliki profil metabolom yang unik. Berdasarkan daerahnya, tempe yang dihasilkan pada daerah Jawa Tengah dan Jawa Timur berbeda dengan tempe yang dihasilkan pada daerah Jawa Barat, yaitu Bandung. Berdasarkan Analisis profil metabolom, tempe Bandung memiliki kandungan gula yang lebih tinggi. Pada penelitian yang dilakukan oleh Kadar dkk (2018), diperoleh pengetahuan bahwa komunitas pada titik pengamatan jam ke-30 tempe adalah komunitas bakteri pengguna polimer karbohidrat. Adanya dinamika komunitas pengguna polimer pada tempe Bandung yang dapat dikaitkan dengan karakter cita rasa tempe Bandung dan profil metabolit di akhir masa fermentasi.

Selain tempe yang dibuat dengan menggunakan kacang kedelai sebagai bahan baku, standarisasi pembuatan tempe dengan bahan baku lain seperti kacang koro dan juga limbah tahu (tempe gembus) juga telah dilakukan.

### III. STANDARISASI FERMENTASI KOPI INDONESIA

Kopi merupakan salah satu komoditas ekspor unggulan dari Indonesia dan sumber pendapatan devisa negara. Indonesia menjadi negara produsen kopi terbesar ketiga setelah Brazil dan Vietnam pada tahun 2010 (International Coffee Organization, 2014). Kopi menjadi komoditas penting di Indonesia karena memiliki peluang pasar yang tinggi di dalam dan luar negeri. Menurut International Coffee

Organization (2015), konsumsi kopi di Indonesia mengalami kenaikan sebesar 7.7% dari tahun 2011 hingga 2014, sedangkan konsumsi kopi di dunia mengalami peningkatan sebesar 2.3% pada rentang waktu yang sama.



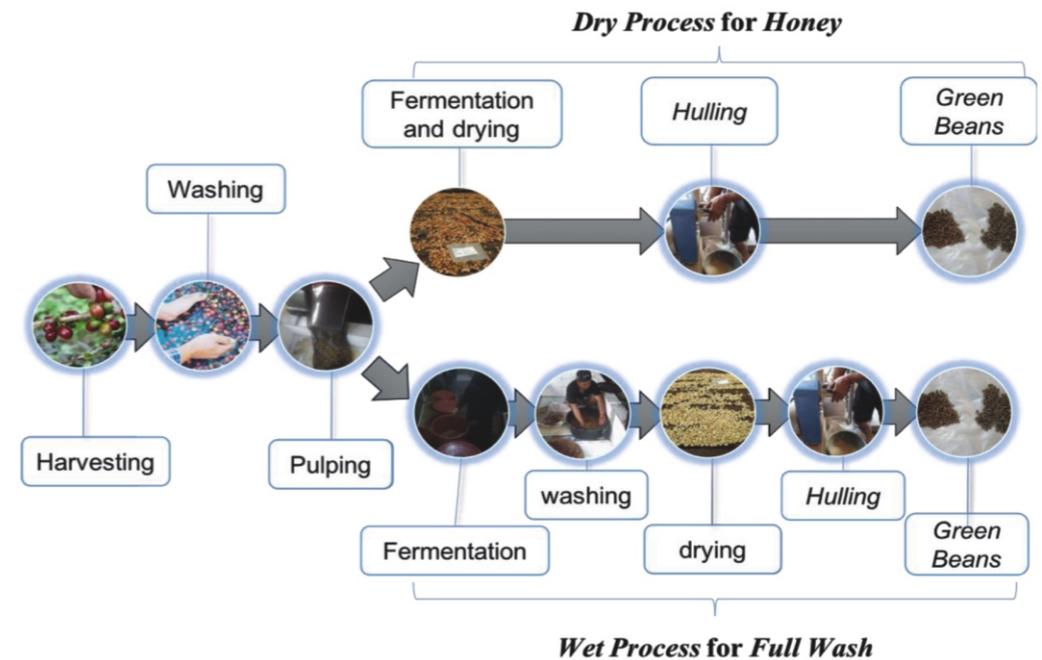
Gambar 5. Persebaran kopi di Indonesia (Tentera Coffee Roasters Corporation, 2019)

Merujuk pada data statistik tahun 2014, tercatat produksi kopi Indonesia sebesar 643.857 ton yang didominasi oleh jenis robusta sebesar 73,57%, sedangkan jenis arabika hanya 26,43%. Angka persentase ini diestimasikan tidak akan berubah signifikan hingga tahun 2016 (Direktorat Jendral Perkebunan, 2015). Walaupun jenis arabika lebih sedikit dibandingkan robusta, berbagai varian kopi arabika Indonesia tergolong sebagai *Specialty Coffee* atau Kopi Spesial sehingga dapat dikatakan bahwa kopi arabika Indonesia memiliki kualitas yang tinggi.

Varian kopi arabika Indonesia digolongkan berdasarkan daerah asal tempat budidayanya (Gambar 5). Beberapa varian kopi arabika tersebut antara lain berasal dari daerah Sumatera Utara, Aceh, Sulawesi Selatan, Sumatera Barat, Jawa, Bali, dan Nusa Tenggara Timur (Triyanti, 2016). Masing-masing daerah memiliki cita rasa dan aroma yang khas serta unik. Keunikan akan rasa dan aroma dari berbagai varian kopi arabika ini dipengaruhi oleh lingkungan tempat tumbuhnya. Misalnya rasa dan aroma pada kopi arabika dari daerah Sulawesi memiliki profil *Spicy, Good Sweetness*, dan *Good Acidity*, sedangkan profil kopi dari daerah Papua adalah *Heavy Body, Chocolaty, Spicy*, dan *Earthy* (Specialty Coffee Association of Indonesia, 2015). Faktor lingkungan yang berpengaruh pada cita rasa dan aroma kopi

### Proses pengolahan biji kopi

Proses pengolahan biji kopi terbagi ke dalam beberapa tahap. Tahapan dalam proses pengolahan kopi antara lain: seleksi tanaman kopi dan pemanenan, pemrosesan kopi dengan metode kering atau basah (*Full wash atau honey*), pengeringan, pemanggangan, penggilingan, dan *cupping* (Illy & Viani, 2005). Diagram pengolahan biji kopi secara umum padat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Proses pengolahan kopi (Handayani, 2019)

### Peningkatan kualitas kopi dengan pendekatan *second fermentation*

Kopi luwak merupakan kopi yang memiliki harga atau nilai jual yang lebih tinggi dibandingkan dengan kopi lainnya. Kopi luwak memiliki cita rasa yang berbeda dari kopi lainnya akibat interaksi yang terjadi di dalam saluran pencernaan luwak sehingga prekursor aroma dan rasa di dalam kopi berubah. Kekhawatiran akan *animal abuse* terhadap luwak sebagai agen produksi menjadi masalah dalam produksi kopi luwak. Pembuatan kopi luwak secara independen dapat dilakukan dengan melakukan proses fermentasi biji kopi menggunakan mikroorganisme isolat dari saluran pencernaan luwak dengan kemampuan hidrolisis komponen biji

kopi. Fermentasi juga dilakukan pada kondisi yang memiliki kondisi yang ada pada sistem pencernaan dari luwak. Akan tetapi hasil kopi yang terfermentasi ini sering tidak sesuai dengan cita rasa kopi luwak alami. Masalah lain yang dihadapi dari produksi kopi luwak adalah banyaknya pemalsuan kopi dengan label kopi luwak untuk meningkatkan nilai jual kopi. Penggunaan zat artifisial untuk menambah cita rasa kopi agar mirip kopi luwak dan pencampuran kopi biasa ke dalam kopi luwak dilakukan beberapa produsen untuk meningkatkan harga jual kopi.

Pendekatan metabolomik telah dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut. Metabolomik merupakan studi mengenai produk metabolisme yang disebut metabolit dalam suatu sel atau organisme, yang dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan. Pendekatan metabolomik memiliki kelebihan dapat menggambarkan aktivitas biokimia yang merepresentasikan fenotip suatu molekul (EBI, 2016). Studi metabolomik telah banyak digunakan untuk menentukan biomarker makanan sebagai upaya autentikasi produk tersebut, salah satunya adalah kopi luwak. Keberadaan biomarker ini dapat digunakan sebagai salah satu standar untuk menentukan apakah kopi luwak yang dihasilkan dari proses fermentasi memiliki kualitas yang mendekati kopi luwak asli.

Berdasarkan hasil penelitian Jumhawan dkk (2013), kopi luwak asli memiliki kandungan asam malat, asam sitrat dan perbandingan inositol/piroglutamat yang tinggi dibandingkan dengan kopi lainnya. Kandungan asam malat pada kopi luwak mencapai 25 mg/kg dan asam

sitrat mencapai 70 mg/kg, sedangkan pada kopi biasa, kandungan asam malat sebesar 12 mg/kg dan asam sitrat 45 mg/kg. Asam malat dan asam sitrat dihasilkan pada siklus TCA yang merupakan siklus penting dalam metabolisme pembentukan energi pada sel bakteri dan produksinya terjadi terus menerus dengan bantuan enzim tertentu. Sintesis asam malat pada siklus TCA terjadi dengan bantuan enzim Fumarase, sedangkan untuk sitrat adalah sitrat sintetase (Xamplified, 2010). Dengan mengetahui marker pada kopi luwak, yaitu asam malat dan asam sitrat, dapat dilakukan fermentasi biji kopi dalam pembuatan kopi luwak dengan cara meningkatkan kandungan asam malat dan asam sitrat pada biji kopi. Pada tahap awal penelitian ini dilakukan fermentasi kopi menggunakan metode fermentasi kedua, dengan *green beans* sebagai bahan baku. Tujuan penelitian ini adalah mengoptimasi fermentasi biji kopi sehingga dihasilkan kopi dengan cita rasa kopi luwak yang mengacu kepada analisis metabolomik yaitu asam malat dan asam sitrat sebagai metabolit marker pada kopi luwak. Proses fermentasi biji kopi dilakukan dengan metode *solid state fermentation*, pH medium 6, dan suhu 30°C.

**Tabel 1.** Hasil *cupping score* kopi terfermentasi (L: kopi kontrol, 4A: fermentasi 4 jam, 8A,8B,8C: fermentasi 8 jam, 12A: fermentasi 12 jam)

Kriteria	L	4A	8A	8B	8C	12A
<i>Fragrance</i>	2.8	3.0	3.0	2.7	2.8	3.0
<i>Flavor</i>	2.9	3.1	3.0	2.9	3.0	3.0
<i>Aftertaste</i>	2.9	2.3	2.8	2.8	2.8	2.9
<i>Acidity</i>	2.6	3.4	3.6	3.1	3.1	3.2
<i>Body</i>	2.4	2.8	2.7	2.6	2.4	2.5
<i>Balance</i>	2.8	3.0	3.0	2.8	2.9	2.5
<i>Sweetness</i>	1.8	2.0	2.0	2.2	2.0	1.9
<i>Overall</i>	2.7	3.0	2.6	2.8	2.4	2.4

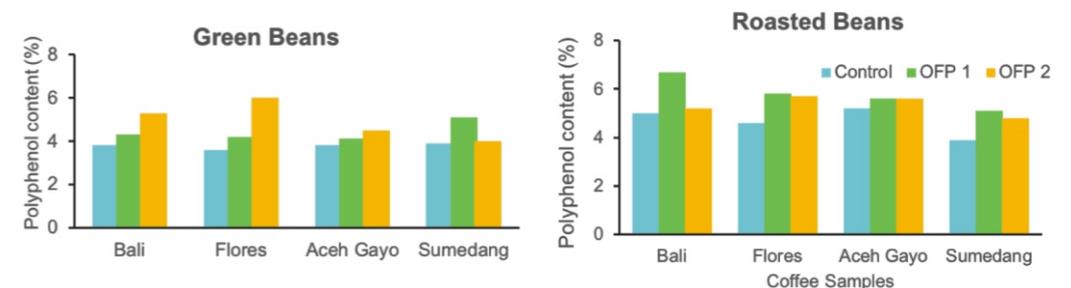
Uji organoleptik dan analisis metabolomik dilakukan setelah kopi diroasting sampai kategori *medium roasted*. Hasil isolasi dan screening mikroorganism dengan kemampuan enzim fumarase, amilolitik, pektolitik dan proteolitik adalah BF5C(2) dan AF7E sedangkan untuk kemampuan selulolitik dimiliki UciSp14 yang diisolasi dari ubi cilembu. Biji kopi yang difermentasi selama 8 jam memiliki cita rasa yang mendekati kopi luwak, namun cita rasa yang paling digemari adalah kopi yang difermentasi selama 4 jam (Tabel 1)

### Perbedaan kualitas dari berbagai jenis kopi di Indonesia

Studi fermentasi kopi kemudian dilanjutkan dengan menggunakan berbagai macam *green beans* yang berasal dari beberapa daerah di

Indonesia, seperti: Bali, Flores, Aceh gayo, dan Sumedang. Fermentasi dilakukan dengan menggunakan kondisi yang sama seperti pada penelitian sebelumnya. Kualitas dari hasil fermentasi kopi dievaluasi dengan menggunakan uji total polifenol dan aktivitas anti-oksidan.

Berdasarkan hasil pengukuran kadar total polifenol (Gambar 6), biji kopi beras arabika yang terfermentasi memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kontrol (biji yang tidak difermentasi). Rata-rata jumlah total polifenol setelah fermentasi mengalami kenaikan yaitu dari 3,79% ke 4,71%. Peningkatan jumlah polifenol setelah fermentasi kemungkinan diakibatkan oleh aktivitas bakteri yang menyebabkan reaksi reesterifikasi pada jenis polifenol tertentu sehingga terbentuk monomer atau polifenol lainnya dengan jumlah yang berlipat. Misalnya *Chicoric Acid* yang mengalami reesterifikasi akan menghasilkan dua molekul *Caffeic Acid* (Bel-Rhldid dkk, 2011). Reagen Folin-Ciocalteu yang digunakan dalam pengukuran kadar total polifenol ternyata bersifat reaktif pula pada beberapa jenis asam amino (Everette dkk, 2010), sehingga absorbansi akan meningkat dan terdeteksi polifenol lebih tinggi.



**Gambar 7.** Konsentrasi total polifenol pada berbagai macam biji kopi setelah fermentasi

Namun hal ini sesuai dengan aktivitas proteolitik yang memecah protein menjadi asam amino penyusunnya. Aktivitas ini dimiliki oleh salah satu isolat bakteri yang digunakan dalam proses fermentasi, yakni AF7E. Senyawa polifenol masuk dalam golongan senyawa aromatik dengan cincin benzen yang berikatan dengan satu atau lebih ion hidroksil, serta dalam kondisi bebas maupun terikat pada senyawa kimia fungsional lainnya seperti dimetil eter, ester, dan gula. Terdapat beberapa famili di dalamnya antara lain antosianin, koumarin, lignin, flavonoid, tannin, quinon, asam, dan fenol (Koffi dkk, 2010). Kadar total polifenol pada biji kopi yang telah difermentasi dan dipanggang (*roasting*) mengalami kenaikan setelah difermentasi jika dibandingkan dengan kontrol. Kenaikan tersebut dilihat dari peningkatan rata-rata jumlah total polifenol dari 4,69% pada kontrol menjadi 5,46% pada hasil fermentasi. Jika dibandingkan kadar total polifenol dengan tanpa pemanggangan, maka sebagian besar perlakuan mengalami kenaikan konsentrasi polifenol.

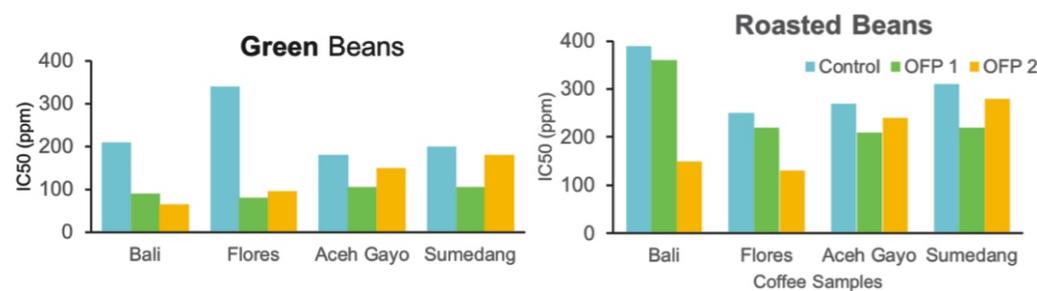
Proses pemanggangan yang dilakukan menggunakan suhu tinggi, 2000C, sehingga menyebabkan perubahan biji kopi baik secara fisik maupun kimia. Perubahan secara kimia yang berpengaruh pada cita rasa dan aroma pada kopi. Reaksi Maillard bertanggungjawab lebih pada tahap pemanggangan ini. Reaksi yang kompleks ini merupakan reaksi non-enzimatik antara gugus amina pada asam amino dengan gugus hidroksil pada gula pereduksi sehingga dihasilkan warna kecoklatan pada bahan makanan. Reaksi ini akan berperan para rasa, aroma, warna,

dan tampilan suatu makanan. Komposisi asam amino dan gula pereduksi berpengaruh besar terhadap rasa dan aroma pada kopi yang dipanggang (Horison dan Dake, 2005; Martins dkk, 2001). Panas tinggi pada proses pemanggangan menyebabkan terlepasnya senyawa polifenol yang terikat pada senyawa lain, sehingga pada saat ekstraksi didapatkan jumlah polifenol yang lebih tinggi. Selain itu, produk-produk dari reaksi Maillard atau yang dikenal dengan istilah *Maillard Reaction Products* (MRP), dapat mengganggu fungsi dari reagen Folin-Ciocalteu yang digunakan dan mengakibatkan pendeteksian senyawa polifenol yang lebih tinggi (Chandrasekara dan Shahidi, 2011).

Berdasarkan hasil perhitungan IC50 (pengukuran aktivitas antioksidan) pada Gambar 7, perlakuan fermentasi memiliki IC50 yang lebih rendah dibandingkan dengan kontrol yang tidak difermentasi. Hal tersebut mengartikan bahwa aktivitas antioksidan yang lebih tinggi pada biji kopi setelah difermentasi menggunakan ketiga isolat tersebut. Peningkatan aktivitas antioksidan ini dipengaruhi oleh perubahan senyawa kimia yang terkandung dalam sampel akibat aktivitas bakteri selama fermentasi. Enzim yang dihasilkan bakteri selama proses fermentasi, seperti glukosidase, amilase, kitinase, selulase, inulinase, xylanase, dan lipase mampu memecah dinding sel tumbuhan atau pati yang terkandung di dalamnya. Enzim-enzim tersebut dapat mengganggu integritas sel karena terjadi pengrusakan matriks dinding sel pada biji kopi. Hal ini akan memfasilitasi terjadinya ekstraksi flavonoid sehingga

jumlahnya yang ke luar dari sel biji kopi akan meningkat. Senyawa flavonoid merupakan polifenol yang mampu menghambat radikal, sehingga tergolong dalam senyawa antioksidan (Hur dkk, 2014).

Aktivitas antioksidan pada biji kopi yang telah difermentasi dan dipanggang memiliki nilai IC50 yang lebih rendah dibandingkan dengan kontrol. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses fermentasi dapat meningkatkan aktivitas antioksidan pada biji kopi bahkan setelah dipanggang (*roasting*). Jika dibandingkan antara biji kopi sebelum dan sesudah dipanggang, maka nilai IC50 pada biji kopi yang telah dipanggang mengalami kenaikan. Artinya aktivitas antioksidan mengalami penurunan setelah mengalami proses pemanggangan. Proses pemanggangan biji kopi ini dapat menurunkan kapasitas antioksidan pada suatu sampel makanan. Namun aktivitas antioksidan pada biji kopi hasil fermentasi masih lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Hal tersebut diakibatkan adanya peristiwa transformasi senyawa polifenol melalui reaksi Maillard selama proses pemanggangan (Nicoli dkk, 1997; Castillo dkk, 2012).



**Gambar 8.** Aktivitas anti-oksidan pada berbagai macam biji kopi setelah fermentasi

## Pengaruh roasting terhadap kualitas biji kopi

Selain dari kandungan total polifenol dan aktivitas anti-oksidan, pemanggangan juga berpengaruh terhadap cita rasa kopi yang dihasilkan. Pengujian cita rasa menggunakan sepuluh parameter yang dilakukan oleh *Q Grader* dengan metode yang disesuaikan dengan standar internasional oleh SCAA (*Specialty Coffee Association of America*). Cita rasa dan aroma khas yang dimiliki oleh kopi menjadi parameter utama yang digunakan untuk menentukan kualitas biji kopi tersebut. Pembentukan cita rasa dan aroma ini terjadi ketika tahap pemanggangan (*roasting*) yang dilakukan pada suhu 200°C. Reaksi Maillard merupakan reaksi dominan yang berpengaruh dalam pembentukan cita rasa dan aroma pada biji kopi ini. Suhu tinggi akan mengkatalis terjadinya reaksi Maillard pada kopi (Lee dkk, 2015), sehingga dalam waktu yang relatif singkat dapat dihasilkan perubahan warna pada kopi menjadi coklat muda hingga coklat gelap (Buffo dan Cardelli-Freire, 2004). Berbagai prekursor rasa dan aroma yang berperan penting saat proses pemanggangan yang terkandung dalam biji kopi yakni gula, protein, asam amino, dan senyawa fenolik. Selama proses pemanggangan gula, baik polisakarida maupun gula sederhana, akan berperan dalam pembentukan produk karamelisasi (Lee dkk, 2015). Asam amino dan gula pereduksi menjadi komponen yang penting pada kopi karena keduanya yang terlibat langsung dalam reaksi Maillard yang kompleks (Horison dan Dake, 2005). Protein dan beberapa senyawa fenolik berperan pada rasa pahit atau *bitterness* yang muncul pada kopi (Lee dkk, 2015).

**Tabel 2.** Kandungan Asam Amino pada kopi fermentasi

Asam Amino	Kontrol*	Fermentasi*	Persentase** (%)
L-Histidin	3.257,39	4.826,69	+ 48,18
Glisin	8.407,98	8.767,83	+ 4,28
L-Alanin	4.679,70	5.129,27	+ 9,61
L-Asam Aspartat	8.492,44	9.436,48	+ 11,12
L-Asam Glutamat	16.962,34	19.628,85	+ 15,72
L-Isoleusin	4.366,79	4.701,14	+ 7,66
L-Leusin	9.198,07	10.181,27	+ 10,69
L-Lisin	7.004,65	6.837,55	- 2,39
L-Threonin	4.950,87	5.269,46	+ 6,44
L-Tirosin	3.638,13	4.082,44	+ 12,21
L-Valin	5.860,87	6.444,42	+ 9,96
L-Prolin	5.530,70	6.535,19	+ 18,16
L-Fenilalanin	6.834,90	7.206,54	+ 5,44
L-Serin	6.900,31	6.957,82	+ 0,83
L-Arginin	6.804,01	7.302,25	+ 7,32

\* Dalam satuan mg/kg

\*\* Persentase kenaikan (+) atau penurunan (-) kandungan asam amino pada biji kopi hasil fermentasi jika dibandingkan dengan kontrol

Data mengenai kandungan asam amino pada biji kopi dengan tingkat pemanggangan yang berbeda disajikan pada Tabel 3. Berdasarkan data tersebut, teramati penurunan kandungan beberapa asam amino yang terdapat pada biji kopi setelah dipanggang. Hal tersebut disebabkan pengaruh panas tinggi yang menyebabkan terjadinya degradasi asam amino. Selain degradasi, terinduksinya reaksi asam amino dengan senyawa lainnya sehingga strukturnya berubah membentuk senyawa lain. Jika dibandingkan kandungan asam amino antara tingkat pemanggangan

*light, medium, dan dark* terdapat beberapa asam amino yang mengalami kenaikan seiring meningkatnya *roasting degree*. Namun juga teramati adanya asam amino yang terus mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya *roasting degree* yakni asam amino treonin dan juga arginin. Profil asam amino suatu bahan makanan memberikan pengaruh terhadap cita rasa yang dimilikinya, karena asam amino menyumbangkan kemunculan rasa pahit, manis, asam, maupun umami. Kandungan asam amino isoleusin, leusin, dan valin mengalami kenaikan seiring dengan meningkatkan *roasting degree*. Fakta menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat pemanggangan, cita rasa pahit (*bitterness*) pada kopi juga akan semakin meningkat. Ketiga asam amino tersebut termasuk dalam kelompok *branched-chain amino acids* (BCAAs) sehingga menyumbang rasa pahit yang ekstrim (Buffo dkk, 2004).

**Tabel 3.** Kandungan Asam Amino pada Biji Kopi Terfermentasi dengan *Roasting Degree* yang berbeda

Asam Amino	Unit	FG	FL	FM	FD
L-Histidin	mg/kg	4.826,69	2.361,52	2.446,77	2.072,42
Glisin	mg/kg	8.767,83	7.482,42	7.561,29	9.392,17
L-Alanin	mg/kg	5.129,27	5.058,84	5.142,5	6.863,39
L-Asam Aspartat	mg/kg	9.436,48	8.035,13	7.213,32	8.560,34
L-Asam Glutamat	mg/kg	19.628,85	22.126,47	21.809,45	22.906,58
L-Isoleusin	mg/kg	4.701,14	4.282,34	4.387,59	4.758,90
L-Leusin	mg/kg	10.181,27	9.927,83	10.106,33	10.242,10
L-Lisin	mg/kg	6.837,55	1.168,11	1.232,18	1.592,55
L-Threonin	mg/kg	5.269,46	3.630,43	2.876,16	2.811,52
L-Tirosin	mg/kg	4.082,44	3.205,26	3.304,18	3.083,60
L-Valin	mg/kg	6.444,42	6.041,63	6.159,55	6.681,77

Asam Amino	Unit	FG	FL	FM	FD
L-Prolin	mg/kg	6.535,19	5.818,71	5.851,16	6.289,21
L-Fenilalanin	mg/kg	7.206,54	6.419,09	6.644,57	6.244,60
L-Serin	mg/kg	6.957,82	4.071,89	2.798,84	6.712
L-Arginin	mg/kg	7.302,25	949,98	851,38	370,3

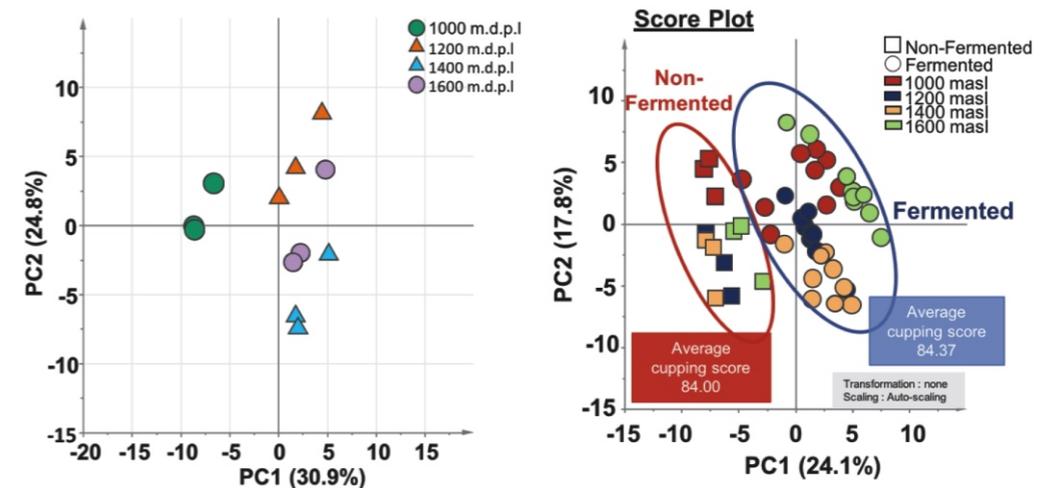
Keterangan: FG (*Green Bean*), FL (*Light Roast*), FM (*Medium Roast*), dan FD (*Dark Roast*)

Di sisi lain, asam amino yang memiliki cita rasa manis mengalami penurunan seiring dengan meningkatkan *roasting degree*. Asam amino tersebut adalah treonin. Bahkan kandungan treonin lebih tinggi pada *green bean* dibandingkan pada tingkat pemanggangan *light*. Asam amino arginin mengalami penurunan yang signifikan dari *green bean* ke tingkat pemanggangan *light*. Nilai ini terus mengalami penurunan seiring meningkatnya tingkat pemanggangan hingga tingkat pemanggangan *dark*. Kemampuan arginin untuk menetralkan rasa pahit akan terus berkurang seiring dengan penurunannya akibat meningkatnya *roasting degree* (Buffo dkk, 2004).

### Karakterisasi kualitas kopi berdasarkan profil metabolomik pada ketinggian yang berbeda

Keragaman rasa dan kualitas biji kopi di Indonesia dihasilkan tidak hanya berdasarkan asal daerah di mana kopi tersebut ditanam, tetapi juga berdasarkan ketinggian tempat penanaman pohon kopi. Terdapat keyakinan di masyarakat bahwa kopi yang ditanam pada ketinggian yang lebih tinggi akan memiliki kualitas yang lebih baik. Kami telah melakukan

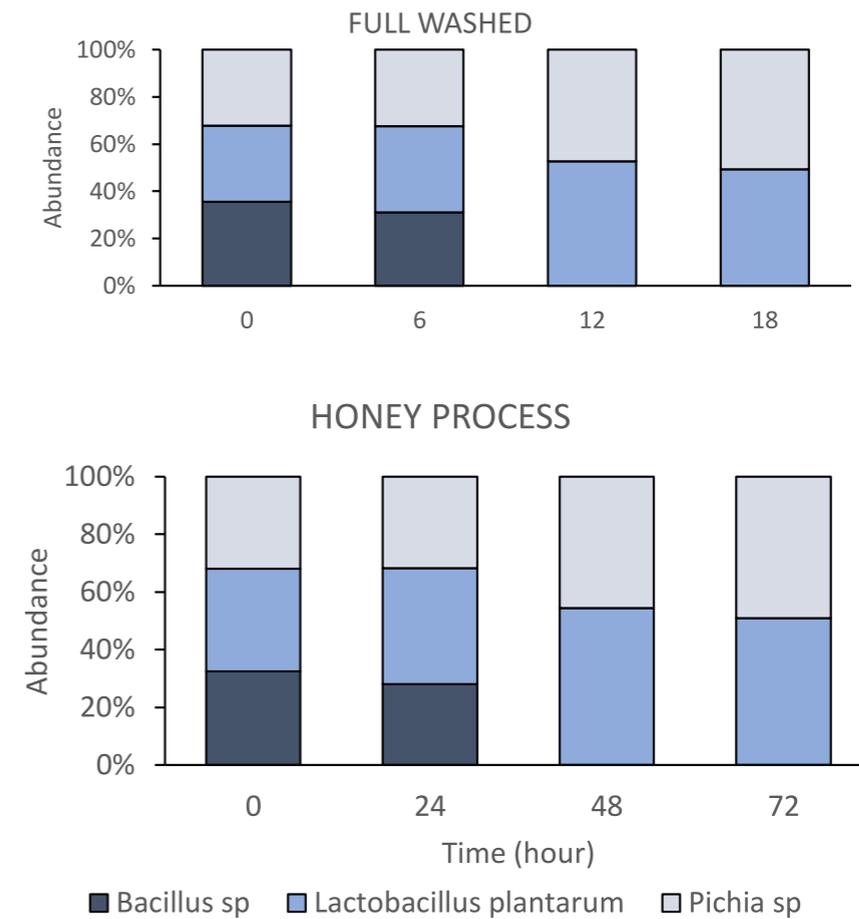
penelitian untuk melihat apakah terdapat perbedaan profil metabolomik dari biji kopi yang ditanam pada ketinggian yang berbeda mulai dari 1000, 1200, 1400, dan 1600 mdpl. Berdasarkan hasil profil metabolomik, biji kopi dapat dikelompokkan berdasarkan setiap ketinggian yang berbeda, sehingga dapat dibuktikan bahwa ketinggian berpengaruh terhadap cita rasa dan kualitas biji kopi (Gambar 8). Berdasarkan hasil PCA sampel dikelompokkan menjadi sampel yang diperoleh dari ketinggian 1000 mdpl dan sampel yang diperoleh dari ketinggian lebih dari 1000 mdpl dengan metabolit yang diduga berkorelasi dengan pemisahan tersebut dapat dilihat pada loading plot. Akan tetapi yang menarik adalah ketika biji kopi dari ketinggian yang berbeda tersebut di fermentasi, maka berdasarkan hasil profil metabolisme biji kopi tidak lagi dibedakan berdasarkan ketinggian melainkan berdasarkan sebelum dan setelah fermentasi.



Gambar 9. Pengelompokan kopi berdasarkan profil metabolik

## Standarisasi proses fermentasi pertama pada pengolahan biji kopi arabika

Setelah dilakukan standarisasi fermentasi kedua pada pengolahan biji arabika, kemudian diketahui bahwa biji kopi yang berasal dari Jawa Barat (Gunung Puntang) memiliki potensi atau kualitas yang telah teruji di dunia dengan meraih juara pada kompetisi kualitas kopi dunia. Kopi Arabika Gunung Puntang mendapatkan skor *cupping test* sebesar 86.25 dalam lelang kopi dunia yang tergabung dalam asosiasi *Specialty Coffee Association of America* (SCAA) bulan April tahun 2016, yang menjadikan green bean kopi Gunung Puntang memiliki nilai jual yang cukup tinggi, yaitu 55 dollar per kilogram (SCAA, 2016). Akan tetapi, perubahan iklim di Indonesia yaitu dari musim hujan dan kemarau mempengaruhi kualitas biji kopi yang dihasilkan. Kualitas yang tidak stabil diduga disebabkan akibat proses fermentasi pertama masih menggunakan fermentasi spontan, sehingga mikroba yang berperan selama proses fermentasi tidak stabil. Sehingga, kami mencoba melakukan standarisasi proses fermentasi pertama baik pada *full wash* proses ataupun *honey* proses. Proses standarisasi dimulai dengan melakukan isolasi bakteri dari buah *cherry* kopi hingga proses fermentasi dan didapatkan lima isolate bakteri dan tiga isolat ragi. Berdasarkan kemampuan enzimatisnya dipilih dua isolat bakteri dan satu isolat ragi yang teridentifikasi sebagai: *Bacillus* sp. (B3), *Lactobacillus* (B5), dan *Pichia* (Y2). Setelah didapatkan ketiga mikroba kunci ini lalu dilakukan analisis kelimpahan ketiga mikroba tersebut selama proses fermentasi kopi.



Gambar 10. Kelimpahan mikroba selama proses fermentasi kopi alami

Berdasarkan hasil kelimpahan ketiga mikroba kunci pada proses fermentasi baik *full washed* maupun *honey process*, terlihat bahwa *Bacillus* sp. berperan dalam 6 jam dan 24 jam pertama pada proses fermentasi untuk proses *full washed* dan *honey* secara berurutan. Sedangkan untuk *Lactobacillus* dan *Pichia* berperan dari awal hingga akhir proses fermentasi.

Tabel 4. Hasil kualitas biji kopi terfermentasi pada proses full washed

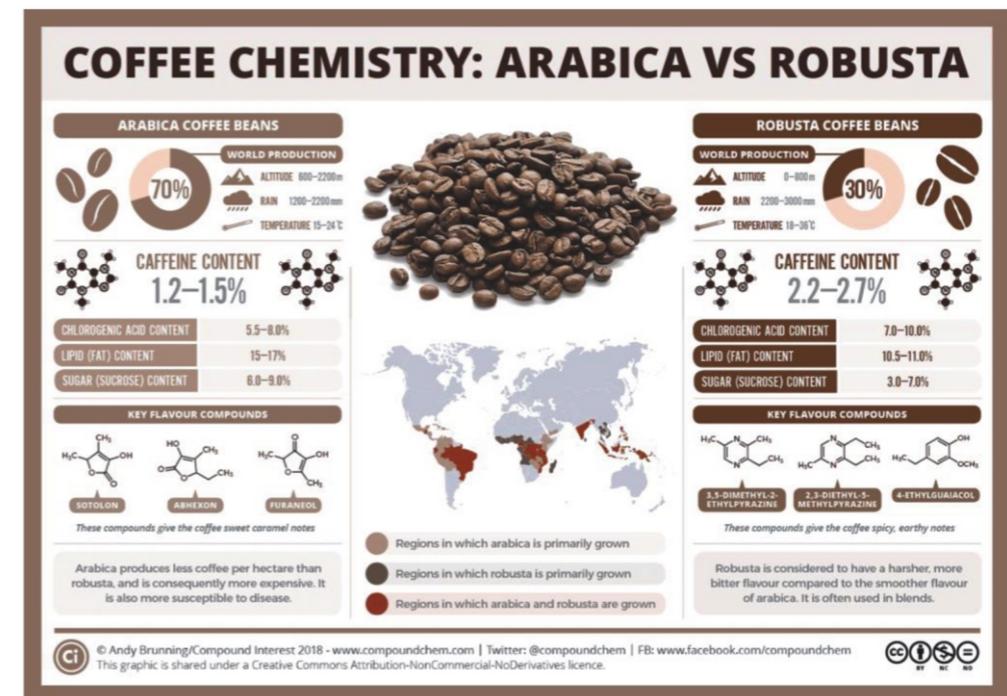
condition	time	Score			
		Q grader 1	Q grader 2	Q grader 3	average
Fermented	12 h	83.75	83.25	83	83.3
	18 h	81.5	82	81.5	81.7
control	18 h	81.5	81.5	81.75	81.6

Penelitian kemudian dilanjutkan dengan melakukan optimasi rasio dari ketiga isolat untuk mengontrol fermentasi. Pada proses pengolahan yang berbeda dibutuhkan rasio ketiga mikroba yang berbeda pula seperti pada tabel 4 dan 5. Secara umum, proses fermentasi yang telah dioptimasi dapat meningkatkan kualitas biji kopi yang dihasilkan baik dengan menggunakan metode *full washed* process maupun *honey* process. Dengan adanya teknologi fermentasi terkontrol ini maka petani kopi dapat menghasilkan kualitas kopi yang stabil sepanjang musim tanpa bergantung pada perubahan kondisi lingkungan akibat perbedaan musim.

Tabel 5. Hasil kualitas biji kopi terfermentasi pada proses Honey

condition	time	Score			
		Q grader 1	Q grader 2	Q grader 3	average
Fermented	2 h	84	83.75	84	83.92
	8 h	82.25	82.25	82.5	82.75
	14 h	82.25	82.25	82.25	82.42
control	0 h	80.5	81.5	80.5	80.83

## Standarisasi fermentasi kopi robusta

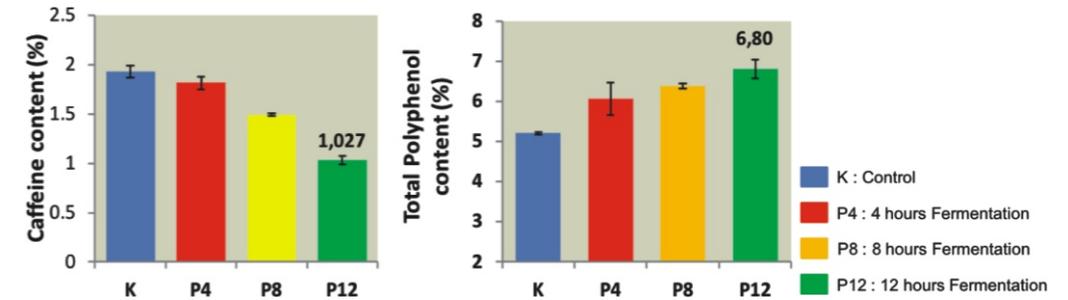


Gambar 11. Perbedaan kopi Arabika dan Robusta (Bunning, 2018)

Selain arabika, jenis kopi robusta menempati posisi kedua berdasarkan kuantitas produksinya. Sebanyak 73,57% dari total produksi kopi di Indonesia merupakan jenis kopi robusta. Kopi robusta umumnya memiliki profil rasa yang lebih pahit dan cenderung lebih asam bila dibandingkan dengan kopi arabika karena kandungan kafein yang mencapai 1,5-2,5% serta asam klorogenat yang mencapai 7-14%. Hal inilah yang menyebabkan preferensi masyarakat yang cukup rendah untuk mengkonsumsi kopi robusta. Namun, di sisi lain kandungan yang cukup

tinggi dari kedua senyawa tersebut juga menyebabkan kopi robusta memiliki aktivitas antioksidan yang sangat tinggi, yang dibuktikan dengan nilai IC 50 yang berkisar antara 10-50 ppm. Kopi robusta memiliki komposisi yang berbeda dengan kopi arabika, perbedaan komposisi antara kedua jenis kopi tersebut dapat dilihat pada gambar 11.

Pada studi ini, standarisasi fermentasi kopi robusta dilakukan dengan proses fermentasi kedua, yaitu menggunakan biji kopi hijau (*Green beans*) sebagai substrat awal. Perbedaan komposisi antara kopi robusta dan arabika membutuhkan karakteristik mikroba yang berbeda untuk proses fermentasi kedua. Sehingga pada standarisasi fermentasi kedua dari kopi arabika digunakan dua isolat bakteri yaitu: UciJP dan AF7E. Fermentasi dilakukan selama 4,8, dan 12 jam pada suhu ruang. Berdasarkan hasil uji yang telah dilakukan, proses fermentasi kedua pada kopi robusta dapat menurunkan konsentrasi kafein pada biji kopi robusta. Selama proses fermentasi total konsentrasi kafein yang dapat diturunkan hingga 50% dari konsentrasi pada biji kopi tidak terfermentasi (Gambar 12). Selain itu, juga peningkatan konsentrasi total polifenol pada biji kopi Robusta yang terfermentasi. Semakin panjang proses fermentasi yang dilakukan maka konsentrasi total polifenol juga meningkat. Konsentrasi tertinggi dihasilkan hingga 6,8% selama 12 jam fermentasi.



Gambar 12. Kualitas hasil fermentasi biji kopi Robusta

Selanjutnya, hasil fermentasi kopi robusta yang difermentasi diuji dengan *cupping score* untuk mengetahui perubahan profil cita rasa yang dihasilkan. Hasil *cupping score* dapat dilihat pada tabel 6. Berdasarkan hasil *cupping profile*, fermentasi kedua pada kopi robusta dapat merubah profil rasa yang dihasilkan. Terdapat rasa-rasa baru yang kemudian terbentuk selama proses fermentasi seperti *herbal*, *nutty*, *anise star*, *dried chile*, dsb. Tingkat kemanisan dan nilai pH seduhan kopi mengalami kenaikan selama fermentasi dengan nilai tertinggi mencapai 0.73% Brix dan 4,82 secara berurutan. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa teknologi fermentasi mampu mempertahankan status antioksidan serta menghasilkan seduhan kopi yang lebih manis, lebih tidak asam, rendah kafen, serta memiliki variasi rasa yang berbeda bila dibandingkan dengan kopi robusta yang tidak difermentasi. Oleh karena itu, teknologi fermentasi memiliki potensi untuk meningkatkan mutu dari kopi robusta.

Tabel 6. Profil cita rasa kopi Robusta terfermentasi

Taste	Control	4 h	8 h	12 h	Taste	Control	4 h	8 h	12 h
<i>Caramel</i>	⊖	⊖	⊖	⊖	<i>Molase</i>	⊖			
<i>Choco powder</i>	⊖	⊖	⊖	⊖	<i>Tobacco leaves</i>	⊖			
<i>Chocolate</i>	⊖	⊖	⊖	⊖	<i>Bitter</i>	⊖			
<i>Almond</i>	⊖	⊖		⊖	<i>Dark choco powder</i>	⊖			
<i>Tobacco (hint)</i>	⊖	⊖			<i>Bitter kafein</i>		⊖		
<i>Guava skin</i>	⊖	⊖			<i>Dried spice</i>		⊖		
<i>White pepper</i>	⊖	⊖			<i>Guava skin</i>		⊖		
<i>Peanut</i>	⊖			⊖	<i>Bitter herbal</i>		⊖		
<i>Hazelnut</i>	⊖			⊖	<i>Overripe lemon peel</i>			⊖	
<i>Peanut shell</i>		⊖	⊖		<i>Dark molase</i>			⊖	
<i>Anise star</i>		⊖	⊖		<i>Red chili</i>			⊖	
<i>Dried chili</i>		⊖		⊖	<i>Milk chocolate</i>			⊖	
<i>Herbal</i>		⊖		⊖	<i>Dried clove</i>				⊖
<i>Nutty</i>			⊖	⊖	<i>Cheap dark chocolate</i>				⊖
					<i>Honey</i>				⊖
					<b>Cupping Score</b>	<b>79</b>	<b>76</b>	<b>77,75</b>	<b>78,25</b>

Berdasarkan studi yang telah dilakukan didapatkan bahwa fermentasi terkontrol biji kopi mampu meningkatkan kualitas biji kopi yang dihasilkan, baik dengan menggunakan biji kopi Arabika maupun Robusta. Dengan fermentasi terkontrol juga dapat digunakan oleh para petani kopi untuk menghasilkan kopi dengan kualitas yang stabil dan lebih baik. Saat ini paten untuk proses fermentasi kopi dengan metode second fermentation telah terdaftar.

#### IV. DAMPAK PENELITIAN TERHADAP MASYARAKAT

##### STRATEGI PENGEMBANGAN USAHA TANI KOPI ARABIKA

Kopi merupakan komoditas ekspor penting bagi Indonesia yang mampu menyumbang devisa yang cukup besar. Kabupaten Bandung Barat merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Jawa Barat yang mempunyai potensi cukup besar untuk pengembangan komoditas kopi

arabika. Desa Suntenjaya, Kecamatan Lembang, merupakan salah satu daerah penghasil kopi arabika di Kabupaten Bandung Barat. Namun demikian ada beberapa kendala dalam pengembangan usaha tani kopi arabika di antaranya pemanfaatan sumber daya lahan, aspek panen dan pascapanen, kualitas serta aspek kelembagaan. Oleh karena itu, perlu dirumuskan strategi pengembangan usaha yang dapat diterapkan pada petani kopi arabika. Data yang terkumpul dianalisis dengan menggunakan analisis SWOT dan QSPM. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa dalam upaya membantu petani mengembangkan usahanya, ada beberapa strategi yang menjadi prioritas untuk dijalankan yaitu: (1) mengembangkan pengolahan hasil usaha tani, (2) meningkatkan keterampilan teknis usaha tani untuk peningkatan mutu produk, (3) memberdayakan kelompok usaha tani untuk lebih meningkatkan usahanya. Strategi yang menjadi prioritas dan dapat dijalankan baik oleh pemerintah maupun petani kopi dalam mengembangkan usaha tani kopi dapat dijelaskan sebagai berikut (Zakaria dkk, 2017):

##### 1. Mengembangkan Pengolahan Hasil Usaha Tani

Pengembangan pengolahan hasil usaha tani ini merupakan strategi utama dalam pengembangan kopi arabika di Desa Suntenjaya. Buah kopi hasil panen, seperti halnya produk pertanian yang lain, perlu segera diolah menjadi bentuk akhir yang stabil agar aman untuk disimpan dalam jangka waktu tertentu (Budiman, 2012). Kopi arabika dalam bentuk green

bean masih merupakan bahan baku yang harus diolah lagi menjadi berbagai produk olahan berbahan dasar kopi, yang paling mudah adalah dengan cara diolah menjadi kopi bubuk yang dikemas semenarik mungkin sehingga memiliki nilai jual yang tinggi. Selain itu, banyak produk olahan kopi lainnya yang masih bisa dihasilkan dengan inovasi-inovasi yang sesuai dengan perkembangan zaman saat ini. Budaya minum kopi yang sedang menjadi tren di masyarakat saat ini menjadi salah satu modal dalam pemasaran produk olahan kopi arabika.

Petani kopi arabika dapat mengolah hasil usaha taninya menjadi berbagai produk olahan yang berbahan dasar kopi antara lain kopi bubuk dalam kemasan, brownies, minuman olahan kopi dalam kemasan, permen dan produk olahan lainnya. Sebagai contoh, apabila hasil produksi kopi diolah menjadi produk olahan misalnya kopi bubuk dalam berbagai kemasan, akan dapat meningkatkan pendapatan petani menjadi lebih besar.

Strategi pengolahan lebih lanjut pada hasil usaha tani kopi arabika, salah satu contohnya dengan mengolah menjadi kopi bubuk, dapat meningkatkan keuntungan petani dari penjualan dalam bentuk cherry/gelondongan dan apabila petani menjual dalam bentuk kopi bubuk dalam kemasan menjadi 12 kali lipat.

## **2. Peningkatan Keterampilan Teknis Usaha Tani Untuk Peningkatan Mutu Produk**

Bimbingan dan pembinaan dari instansi terkait kepada petani kopi

arabika berupa aspek teknis budi daya dan operasionalnya mulai dari perencanaan, proses produksi, panen dan penanganan hasil panen serta pemasaran. Kegiatan sebaiknya diikuti petani, pengolah, pedagang pengumpul, pengusaha, masyarakat dan pemerintah sebagai fasilitator. Pihak eksportir juga perlu melakukan pembinaan kepada petani sebagai penyuplai kebutuhan bahan baku sehingga mutu produk tetap terjamin. Peran lembaga penelitian juga sangat penting sebagai pengembangan dan penyalur ilmu pengembangan dan teknologi. Begitu juga peran perguruan tinggi diharapkan mampu meningkatkan mutu kopi arabika yang dihasilkan.

## **3. Pemberdayaan Anggota dan Kelompok Usaha Tani**

Salah satu kelemahan industri kopi arabika adalah kelembagaan kelompok-kelompok usaha yang ada tidak berjalan dengan baik. Hal ini disebabkan kurangnya pembinaan dari pemerintah. Terkait hal tersebut, salah satu program pemerintah yaitu pengembangan sumber daya manusia perlu dilakukan sebagai upaya pembinaan dalam meningkatkan jiwa wirausaha bagi petani kopi arabika di Desa Suntenjaya. Melalui proses pendidikan untuk mengubah pola pikir masyarakat yang awalnya menganggap usaha tani kopi arabika suatu usaha yang tidak memiliki prospek secara ekonomis, padahal bila dikelola dengan baik, usaha tani kopi arabika dapat menjadi sumber pendapatan baru yang prospektif bagi masyarakat.

#### 4. Peningkatan Akses Permodalan

Pencarian sumber pendanaan harus dilakukan dengan berkoordinasi dengan pemerintah ataupun pihak lain. Pada saat ini, pemerintah telah menerapkan program peningkatan usaha tani seperti bantuan permodalan usaha melalui Kredit Usaha Rakyat (KUR) yang bersyarat ringan dan berbunga rendah. Melalui kelompok usaha bersama, petani dapat menjalin kerja sama dengan pihak lembaga keuangan tersebut.

#### 5. Mengoptimalkan Kapasitas Produksi

Peningkatan kapasitas produksi dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti: (a) meningkatkan mutu produksi, (b) memunculkan ciri khas produk untuk mengantisipasi persaingan usaha, (c) menghindari kerusakan fisik sarana tani dan tanaman kopi arabika, serta menghindari pengrusakan terhadap kawasan hutan, (d) upaya pengamanan baik secara perorangan maupun kelompok harus dilakukan dalam menghindari pencurian, bukan hanya terhadap tanaman itu sendiri tapi juga fasilitas usaha tani yang digunakan.

#### 6. Mengoptimalkan Lahan Usaha Tani

Potensi lahan usaha tani kopi arabika di Desa Suntenjaya meliputi lahan perhutani yang masih belum dikelola di Desa Suntenjaya. Melihat potensi lahan, sumber daya manusia dan pasar masih sangat besar maka potensi sumber daya yang ada perlu diberdayakan. Berdasarkan aspek kekuatan dan peluang yang ada maka usaha tani kopi arabika di Desa

Suntenjaya memungkinkan untuk dilakukan peningkatan produksi lebih besar daripada hasil yang saat ini sudah diraih, yaitu dengan mengoptimalkan lahan usaha tani.

#### 7. Memperluas dan Mempertahankan Jaringan Pemasaran

Informasi pasar yang lengkap akan memudahkan penentuan jaringan pemasaran yang sesuai untuk dikembangkan agar dapat menjangkau seluruh potensi pasar yang ada. Petani perlu menjalin kerja sama dengan pengusaha dalam hal kelancaran pasokan bahan baku yang diperlukan industri guna mendukung kapasitas produksi. Strategi-strategi tersebut dapat diterapkan secara bersamaan, karena masing-masing strategi saling memiliki keterkaitan satu dengan yang lainnya.

### V. PENUTUP

Indonesia memiliki keragaman mikroorganisme dan potensinya yang besar bagi kehidupan manusia. Ke depan potensi yang dimiliki oleh mikroorganisme lokal dapat dimanfaatkan sebagai solusi untuk mencapai Sustainable Development Goals (SDGs). Berdasarkan pencapaian penelitian yang telah dikembangkan saat ini, mikrobiologi memiliki potensi untuk mengatasi beberapa isu yang menjadi prioritas yang tertuang pada SDGs, diantaranya adalah: (1) mengatasi kemiskinan, (2) membangun ketahanan pangan, (3) Meningkatkan kualitas kesehatan dan pengobatan, (4) meningkatkan kualitas pendidikan, (6) solusi untuk air

bersih dan sanitasi, (6) berpotensi sebagai penghasil energi baru dan terbarukan, (7) mengurangi dampak perubahan iklim, (7) menjaga dan meningkatkan potensi kehidupan bawah laut, dan (8) menjaga dan meningkatkan potensi kehidupan terrestrial. Sehingga, tantangan ke depan dalam eksplorasi mikroba adalah melakukan standarisasi proses yang menggunakan mikroba sebagai agen utama. Standarisasi proses perlu dilakukan agar sistem dan teknologi yang dibuat dapat bekerja secara efisien untuk menghasilkan produk yang stabil.

Oleh karenanya, standarisasi beberapa proses fermentasi yang telah dilakukan dapat membantu baik para mahasiswa, peneliti muda, tenaga pengajar, dan masyarakat lainnya untuk memaksimalkan potensi mikroba di dalam kehidupannya. Sangat diharapkan agar dengan standarisasi *microbial process*, di masa depan ITB sebagai institusi pendidikan dapat menjadi tumpuan bagi pengembangan eksplorasi mikroba dengan menggunakan pendekatan teknologi mutakhir, seperti *metagenomic*, *metatranscriptomic*, dan *metabolomics*. Sehingga teknologi yang dihasilkan dapat berkesinambungan.

## VI. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan yang baik ini, dengan segala kerendahan hati ijin saya mengucapkan penghargaan dan terima kasi kepada Forum Guru Besar (FGB) ITB beserta seluruh anggotanya atas kesempatan dan kehormatan yang diberikan kepada saya untuk menyampaikan pidato

ilmiah dihadapan hadirin sekalian.

Penghargaan dan ucapan terima kasih saya sampaikan juga kepada para guru yang telah memberikan pendidikan yang amat berharga bagi saya sejak di SD BPI, SMPN 2 Bandung, SMP Sunda kelapa Jakarta, sekolah analis Surabaya, dan sekolah analis ITB. Kepada para dosen selama saya belajar di Departmen Biologi ITB, yang telah memberikan pendidikan berkualitas sehingga saya mampu menyelesaikan pendidikan tertinggi saya, yaitu pendidikan Doktor di ITB, yaitu Prof. Sri Sudarwati (almh), Prof. Estiti B. Hidayat (almh), Prof. R.E. Soeriaatmadja, Prof. E. Noerhadi (alm), drs. Unus Suriawiria (alm.), dra. Hasiana I-Kramadibrata (almh), M.Sc (almh), dra. Tjan Kiauw Nio, Dr. Lien Sutasurya, dra. Sri H. Widodo, M.Sc, Dr. Hidayat S. Hardjasasmita (alm), dan dra. Oey Biauw Lan, M.Sc (almh), Dra. Nuryati Juli. Secara khusus saya ingin mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Oei Ban Liang (alm) (FMIPA-KI), Prof. Ir. Ibrahim Sastramihardja (alm) (FTI-TK), Prof. Dr. Ir. Supangat Sumarto (FTSL-TL), dan Prof. Dr. Muhammad Wirahadi Kusuma (alm) yang telah membimbing saya selama menyelesaikan studi sarjana, magister, dan doktor di ITB.

Ucapan terima kasih dan penghargaan juga saya sampaikan kepada kolega senior yang telah mempromosikan saya sebagai Guru Besar, yaitu: Prof. Djoko T. Iskandar, Prof. Tati Suryati Subahar, dan Prof. Dr. Intan Ahmad. Tak lupa saya sampaikan pula terima kasih kepada Prof. Eiichiro Fukusaki, PhD dari *Osaka University*. Terima kasih juga saya ucapkan

kolega senior lain yang banyak memberikan pencerahan dan *encouragement* kepada saya.

Terima kasih juga saya sampaikan kepada Rektor, Dekan SITH serta seluruh civitas akademika SITH ITB atas dukungannya selama ini. Rekan-rekan di KK Bioteknologi Mikroba SITH, terutama Dr. Dea Indriani Astuti, Dr. Gede Suantika, dan Dr. Sastia Prama Putri, terima kasih kerjasama dan dukungannya selama ini. Juga kepada civitas akademika program studi kimia ITB..

Kepada ayahanda Dr. Purwo Arbianto dan Ibunda Malia, serta kakak-kakak dan adik-adik, serta keluarga besar Purwo Arbianto atas kasih sayang serta dukungannya. Terima kasih juga kepada ayah dan ibu mertua Soeratmo Purwowidagdo dan Kardinah, dan keluarga besar Soeratmo Purwowidagdo. Secara khusus terima kasih saya sampaikan kepada suami tercinta Ir. Seno Wirianto yang senantiasa sabar mendampingi, memberikan dukungan, dan selalu memberikan semangat kepada saya selama ini. Juga kepada anak-anak dan cucu-cucu saya yang selalu menjadi inspirasi dan semangat saya untuk selalu berkarya. Tak lupa ucapan terima kasih kepada rekan-rekan yang telah memberikan masukan terhadap isi pidato ini serta kepada Dr. Eng. Kamarisima yang telah membantu saya untuk menyelesaikan penulisan pidato ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aditiawati, P. & Sukma, LPP. 2012. Study of PolyGamma-Glutamic-Acid Production in Bacterial Strain (*Bacillus* sp. Strain-S) Isolated from Cianjur Natto. International Conference on Women's Health in Science & Engineering (WISE-Health) 2012.
- Aditiawati, P., Akhmaloka, Astuti, D.I., Sugilubin, & Pikoli, M.R. 2013. Biodesulfurization of Subbituminous Coal by Mixed Culture Bacteria Isolated from Coal Mine Soil of South Sumatera. *Biotechnology* 12 (1): 46-53, 2013.
- Aditiawati, P., Sugoro, I., Astuti, D. I., dan Sasongko, D. 2011. Biosolubilisasi Batubara Hasil Iradiasi Gamma oleh Kapang *Trichoderma* sp. 2011. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*. Vol 7 No 1. Hal 11-20
- Ariadji, T., Astuti, D.I., Aditiawati, P., Purwasena, I.A., Persada, G.P., Soeparmono, M.R., Amirudin, N.H., Anangadipa, A.A., Sasongko, S.Y., Abqory, M.H., Ardianto, R.N., Subiantoro, E., Aditya, G.H. 2017. Microbial huff and puff project at Mangunjaya field wells: The first in Indonesia towards successful MEOR implementation. SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition 2017
- Astuti, DI., Fenilia, I., Aditiawati, P., Purwasena, IA. 2014. Sequential Isolation, Selection and Characterization of Indigen Hydrocarbonoclastic Bacteria Producing Extracellular Polymeric Substance from Oil Reservoir for Application in MEOR. *Proceedings*

of International Symposium on Earth Science and Technology 2014  
ISBN 978-4- 9902356-3-5

- Bel-Rhlid, R., Crespy, V., Raab, T.W., Page-Zoerkler, T., Fumeaux, R., Marin-Kuan, R., Piguet, D. 2011. Composition comprising chicoric acid and/or derivatives thereof. Paten.
- Buffo, R. A. & Cardelli-Freire, C. 2004. Coffee flavour: an overview. *Flavour and Fragrance Journal*, 19: 99-104
- Castillo, M.D.D., Ames, J.M., dan Gordon, M.H. 2002. Effect of roasting on the antioxidant activity of coffee brews. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 3698–3703
- Chandrasekara, N. dan Shahidi, F. 2011. Effect of Roasting on Phenolic Content and Antioxidant Activities of Whole Cashew Nuts, Kernels, and Testa. *J. Agric. Food Chem.*, 59:5006-5014.
- Devanthi, PVP., Aditiawati, P. 2013. Mixed Culture Fermentation with *Rhizopus oligosporus* and *Micrococcus luteus* to Enhance Isoflavone aglycone, Factor 2 Production and Antioxidant Activity of Soybean. *Asian Journal of Food and Agro-industry*. Vol. 6(06), 329-336.
- Everette, J.D., Bryant, Q.M., Green, A.M., Abbey, Y.A., Wangila, G.W., dan Walker, R.B. 2010. Thorough Study of Reactivity of Various Compound Classes toward the Folin - Ciocalteu Reagent. *J. Agric. Food Chem.*, 58: 8139-8144.
- Harrison, T. J. & Dake, G. R. 2005. An Expeditious, High-Yielding Construction of the Food Aroma Compounds 6-Acetyl-1,2,3,4-

tetrahydropyridine and 2- Acetyl-1-pyrroline. *J. Org. Chem.*, 70 (26): 10872 - 10874

- Hur, S.J., Lee, S.Y., Kim, Y., Choi, I., dan Kim, G. 2014. Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods. *Food Chemistry*, 160: 346–356.
- Illy, A. & Viani, R. 2005. Espresso Coffee: The science of quality. 2<sup>nd</sup> Edition. London, UK: Elsevier Academic Press. Hal. 21-215.
- Jumhawan, U., Putri, S. P., Yusianto, Y., Marwanni, E., Bamba, T. & Fukusaki, E. 2013. Selection of Discriminant Marker for Authentication of Asian Palm Civet Coffee (Kopi Luwak): A Metabolomics Approach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61 (33): 7994-8001.
- Kadar, A.D., Aditiawati, P., Astawan, M., Putri, S.P., Fukusaki, E. 2018. Gas chromatography coupled with mass spectrometry-based metabolomics for the classification of tempe from different regions and production processes in Indonesia. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 126 (3): 411-416
- Koffi, E., Sea, T., Dodehe, Y., dan Soro, S. 2010. Effect of solvent type on extraction of polyphenols from twenty three Ivorian plants. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 5 (3): 550-558.
- Lee, L. W., Cheong, M. W., Curran, P., Yu, B. & Liu, S.Q. 2015. Coffee fermentation and flavor – An intricate and delicate relationship. *Food Chem.*, 185: 182-191

Martins, S. I. F. S., Jongen, W. M. F., & van Boekel, M. A. J. S. 2001. A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends in Food Sciences & Technology*, 11: 364-373.

Aditiawati, P., dan Kamarisima. 2015. Isolation of Asphaltene-Degrading Bacteria from, Sludge Oil.. *Makara, J.Sci.* Vol. 19 No. 1, March 2015

Munawar, Aditiawati, P., Astuti, DI. 2012. Sequential Isolation of Saturated, aromatic, Resinic and Asphaltic Fractions Degrading Bacteria from Oil Contaminated Soil in South Sumatera. *Makara, Seri Sains.* Volume 16, Nomor 1, April 2012

Nasution, R.A., Tangapo, M., Agustina, M., Taufik, I., Aditiawati, P. 2017. Comparison of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) Diversity and Dynamics During Growth of Cilembu Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L var. Rancing) in Cilembu and Jatinangor Site, Indonesia. *J Pure and App Microbio* 11(2): 837-845

Nicoli, M.C., Anese, M., Manzocco, L., dan Lerici, C.R. 1997. Antioxidant Properties of Coffee Brews in Relation to the Roasting Degree. *Lebensm.-Wiss u.-Technol. – Food Science and Technology*, 30: 292-297.

Pikoli, M.R., Aditiawati, P., Astuti, DI. Isolasi Bertahap dan Identifikasi Isolat Bakteri Termofilik Pendegradasi Minyak Bumi dari Sumur Bangko. *Proc ITB*, Vol 32, No. 2, 2000, hal 53-58.

Pikoli, MR., Aditiawati, P., Akhmaloka., Astuti, DI. 2013. DNA Extraction of Mixed Culture Bacteria from Coal-Soil Mixture Cultured by

Sequential Enrichment. *Journal of Pure and Applied Microbiology.* Vol. 7 (3) p. 1737-1742

Pikoli, MR., Aditiawati, P., Akhmaloka., Astuti, DI., & Wijayanti, R. 2014. Growth of *Bacillus megaterium* CSK2, *Bacillus substilis* CSK3 and *Bacillus substilis* CSK4 Isolated from Coal Mixed Soil in Dibenzothiophene-containing Medium. *Proceedings of International Symposium on Earth Science and Technology 2014.* ISBN 978-4-9902356-3-5

Purwasena, IA., Angkawijaya, J., Astuti, DI., Aditiawati, P. 2014. Isolation and Characterization of Biosurfactant Producing Bacteria from Oilfield for MEOR.

Suantika, G., Astuti, D. I., Aditiawati, P., Sasmita, P. G. 2009. Development of Zero-Water Discharge Technology and Nitrifying Bacteria Application in Nursery Phase of The Giant Freshwater Prawn *Macrobrachium rosenbergii* (De Mann). *World Aquaculture* 2009. September, 25-29,

Suantika, G., Lumbantoruan, G., Muhammad, H., Aizah, F.F.N., Aditiawati, P. 2019. Performance of Zero Water Discharge (ZWD) System with Nitrifying Bacteria and Microalgae *Chaetoceros calcitrans* Components in Super Intensive White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Culture. *Journal of Aquaculture Research & Development* 6 (9), 1

Sugoro, I., Kuraesin, T., Pikoli, M.R., Hermanto, S. dan Aditiawati, P. 2009.

Isolasi dan seleksi fungi pelaku solubilisasi batubara subituminous.

Al-Kauniyah, Jurnal Biologi Lingkungan. Vo.3.

Tangapo, M., Astuti, D.I., Aditiawati, P. 2018. Dynamics and diversity of cultivable rhizospheric and endophytic bacteria during the growth stages of cilembu sweet potato (*Ipomoea batatas* L. var. *cilembu*). Agriculture and Natural Resources, 52 (4): 309-316

Tentera Coffee Roasters Corporation. Indonesian specialty coffee. Diakses dari [tenteracoffee.com](http://tenteracoffee.com) pada 19 oktober 2019

Xamplified. 2010. Krebs Cycle. [Online] <http://www.chemistrylearning.com/krebscycle/>, diakses 25 Januari 2016

Zakaria, A., Aditiawati, P., Rosmiati, M. 2017. Strategi Pengembangan Usaha Tani Kopi Arabika (Kasus Pada Petani Kopi di Desa Sunten Jaya, Kecamatan Lembang, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat). J. Sosioteknologi 16(3): 325-339

## CURRICULUM VITAE



Nama : **Prof. Dr. PINGKAN ADITIAWATI, MS**  
NIP : 19580910 198601 2 001  
NIDN : 0010095802  
Tmpt. & tgl. lhr. : Bandung, 10 September 1958  
Agama : Islam  
Gol./Pangkat : IVa/ Pembina

Jab. Fungsional Akademik : Guru Besar

Unit Kerja : SITH ITB

Alamat Kantor : Jl. Ganesa No.10 Bandung 40132

Telp./Faks. : (022) 2511575 / (022) 2534107

Alamat Rumah : Komplek Cihanjuang Indah 220-B57 Cimahi Utara

Telpon/Faks : 022- 6640571/0813-2173-3866

E-mail : [pingkan@sith.itb.ac.id](mailto:pingkan@sith.itb.ac.id)

## 2. PENDIDIKAN

Program	Sarjana	Magister	Doktoral
Perguruan Tinggi Asal	Institut Teknologi Bandung	Institut Teknologi Bandung	Institut Teknologi Bandung
Konsentrasi Ilmu	Biologi	Biokimia	Biokimia
Tahun Lulus	1985	1988	2001

### 3. RIWAYAT GOLONGAN

Golongan	Tahun
Penata Muda (III/a)	1986
Penata Muda TK 1 (III/b)	1990
Penata (III/c)	1995
Penata TK 1 (III/d)	2005
Pembina (IV/a)	2007

### 4. RIWAYAT JABATAN STRUKTURAL

Jabatan Internal	Periode
Ketua Komisi Disiplin	1997 - 2001
Ketua Bimbingan Konseling	1997 - 2001
Sekretaris Bidang Lembaga Kemahasiswaan	2002
Wakil Dekan bidang Sumberdaya	2006 - 2010
Wakil Dekan bidang Akademik	2010 - 2015
Ketua Kelompok Keahlian	2015 - sekarang

### 5. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

Jabatan Fungsional	Periode
Asisten Ahli	1990
Lektor Muda	1995
Lektor	2001
Lektor Kepala	2004
Guru Besar	2019

### 6. RIWAYAT PEMBIMBINGAN (Tahun 2011-2019)

Jenjang	Jumlah Mahasiswa Lulus
S1	167
S2	60
S3	8

### 7. PENGALAMAN PENELITIAN 5 (LIMA) TAHUN TERAKHIR

Judul Riset	Tahun	Sumber Pendanaan Riset	Peran/ Posisi
Analisis Penyebaran Mikroba Udara Kota Bandung	2019	P3MI ITB	Ketua
Inovasi Biosurfaktan dan Biopolimer untuk Aplikasi MEOR	2019	P3MI ITB	Anggota
Pengembangan Bakteriofaga Sebagai Agen Biokontrol Vibriosis pada Kultur Udang Putih <i>Litopennaeus vannamei</i>	2019	RISTEK DIKTI	Anggota
Rancang Bangun Purwa Rupa Fotobioreaktor Upgrading Biogas Menjadi Biomethane dengan Fotosintesis oleh Mikroalga	2019	RISTEK DIKTI	Ketua
Konversi Asam Lemak Jenuh Stearin Menggunakan Enzim Desaturase	2019	RISTEK DIKTI	Anggota
Analisa Diversitas Penggunaan Substrat Karbon oleh Komunitas Bakteri pada Kultur Udang dalam Sistem Akuakultur Tertutup Melalui Aplikasi <i>Biolog EcoPlate Assay</i>	2018 - 2019	RISTEK DIKTI	Anggota
Peningkatan Kualitas Produksi Cokelat Melalui Proses Fermentasi Terkontrol Biji Kakao	2019	LPIK ITB	Ketua
Evaluasi Potensi Komunitas Bakteri Penyebab Biokorosi pada Waduk Jatiluhur dalam Skala Laboratorium dan Secara Langsung	2018 - 2019	RISTEK DIKTI	Ketua
Produksi FEROFFEE " <i>Fermented Coffee</i> " Menggunakan Metode Solid State Fermentation (SSF)	2018	LPIK ITB	Ketua

Judul Riset	Tahun	Sumber Pendanaan Riset	Peran/ Posisi
Sistem Monitoring Penyebaran Mikroba Patogen Di Udara Untuk Deteksi Dini Penyakit Menular	2018	KEMEN-HAN	Ketua
Pengujian Sifat Anti-adhesi dari Biosurfaktan Sebagai Upaya Pencegahan Biokorosi pada Logam	2018	P3MI ITB	Anggota
Profil metabolik udang putih ( <i>Litopenaeus vannamei</i> ) hasil budidaya dengan aplikasi prebiotik rumput laut merah ( <i>Kappaphycus alvarezii</i> ) pada sistem akuakultur tertutup	2018	P3MI ITB	Anggota
Analisis Struktur Komunitas Mikroorganisme pada Sampel Udara Kota Bandung Menggunakan Metode <i>Culture-Independent</i> dan <i>Culture-Dependent</i>	2017 - 2018	RISTEK DIKTI	Ketua
Delignifikasi Biologis dari Berbagai Macam Serat untuk Produksi Nanoselulosa	2017	RISTEK DIKTI	Ketua
Eksplorasi Senyawa Bioaktif Dari Ekstrak Kasar Kultur Jamur Endofit Pohon Surian ( <i>Toona Sinesis Roem</i> ) ( <i>Exploration Of Bioactive Compounds From Crude Extract Of Endophytic fungal Culture Toona Sinesis Roem</i> )	2017	RISTEK DIKTI	Anggota
Penelitian Kajian Pasar Bahan Baku Pakan Ternak Unggas Berbasis Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Terfermentasi di Jawa Timur Jawa Barat dan Lampung	2017	Swasta	Ketua
Dinamika Perubahan Diversitas Mikroba dan Interaksi Fungsionalnya selama Fermentasi Kedelai ( <i>Glycine max Merr</i> ) dalam Pembuatan Tempe	2017	Riset ITB	Ketua
Penapisan dan karakterisasi biosurfaktan yang dihasilkan oleh bakteri indigen reservoir minyak bumi untuk teknologi MEOR	2017	P3MI ITB	Anggota
Pengaruh senyawa kimia bahan alam terhadap pertumbuhan bakteri penghasil biofilm di sumur minyak bumi sebagai alternative penanggulangan biokorosi	2017	P3MI ITB	Anggota

Judul Riset	Tahun	Sumber Pendanaan Riset	Peran/ Posisi
Studi Fenomena dan Optimasi Siklus Mikrobial dalam Sistem <i>Zero Water Discharge</i> pada Kondisi Salinitas Rendah dan penerapannya pada Budidaya Udang Putih ( <i>Litopenaeus vannamei</i> )	2016	DIPA ITB	Ketua
Diversitas dan Fungsional Komunitas Bakteri Endofit yang Berkorelasi dengan Rasa Manis Ubi Cilembu	2016	RISTEK DIKTI	Ketua
Bioaugmentasi dan biostimulasi Mikroba untuk MEOR dalam Skala Lapangan	2015	Pertamina	Ketua
Pengembangan teknologi ZWD ( <i>Zero Water Discharge</i> ) dalam budidaya Udang Galah ( <i>Macrobrachium rosenbergii</i> ) melalui teknologi Bioflok	2014	RISTEK DIKTI	Anggota
Jasa Alih Teknologi Embriogenesis Somatik dalam Penyediaan Bibit	2014	Swasta	Anggota
Produksi Enzim Lignoselulase Dengan Memanfaatkan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Dan Fermentasi Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Bahan Baku Pakan	2014	PT. PUSRI	Ketua

## 8. PUBLIKASI

- I.A Purwasena, **P Aditiawati**, I.K Siwi, N. A Fauziyyah. 2019. *The effect of cymbopogon citratus essential oil on community dynamics of biofilm-forming bacteria isolated from brine water of oil reservoir in South Sumatra*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 299.012057. 10.1088/1755-1315/299/1/012057.
- P Aditiawati**, R Dungani, RM Fikri, S Hartati. 2019. *Optimization of Cellulose Nanofiber Production from Oil Palm Empty Fruit Bunch Using Trichoderma sp. with the Solid State Fermentation Method*. BioResources 14 (2), 3688-3700

- AD Kadar, **P Aditiawati**, M Astawan, SP Putri, E Fukusaki. 2018. *Gas chromatography coupled with mass spectrometry-based metabolomics for the classification of tempe from different regions and production processes in Indonesia*. Journal of bioscience and bioengineering 126 (3), 411-416
- AM Tangapo, DI Astuti, **P Aditiawati**. 2018. *Dynamics and diversity of cultivable rhizospheric and endophytic bacteria during the growth stages of cilembu sweet potato (Ipomoea batatas L. var. cilembu)*. Agriculture and Natural Resources 52 (4), 309-316
- IA Purwasena, **P Aditiawati**, Q Afinanisa, IK Siwi, H Septiani. 2018. *Size Optimization of Lemongrass (Cymbopogon citratus) Essential Oil Nanoparticles as Antimicrobial Substance against Bacteria Isolated from South Sumatran Formation Water*. Materials Research Express
- **P Aditiawati**, R Dungani, C Amelia. 2018. *Enzymatic production of cellulose nanofibers from oil palm empty fruit bunch (EFB) with crude cellulase of Trichoderma sp.* Materials Research Express 5 (3), 034005
- G Suantika, ML Situmorang, A Nurfathurahmi, I Taufik, **P Aditiawati**. 2018. *Application of Indoor Recirculation Aquaculture System for White Shrimp (Litopenaeus vannamei) Growout Super-Intensive Culture at Low Salinity Condition*. J Aquac Res Development 9 (530), 2
- Abdul Khalil H.P.S., Tye Y.Y., Ismail Z., Leong J.Y., Saurabh C.K., Lai T.K., Ni Chong E.W., **Aditiawati P.**, Tahir P.M., Dungani R. 2017. *Oil palm shell nanofiller in seaweed-based composite film:*

*Mechanical, physical, and morphological properties*. BioResources.

- Dungani, R., Owolabi, A.F., Saurabh, C.K., Abdul Khalil, H.P.S., Tahir, P.M., Hazwan, C.I.C.M., Ajijolakewu, K.A., Masri, M.M., Rosamah, E., **Aditiawati, P.** 2016. *Preparation and Fundamental Characterization of Cellulose Nanocrystal from Oil Palm Fronds Biomass*. Journal of Polymers and the Environment
- Dungani, R., Abdul Khalil, H.P.S., Islam, Md.N., Sumardi, I., **Aditiawati, P.**, Hadiyane, A. 2016. *Soil burial degradation of Oil Palm Shell (OPS) nanofiller and Phenol Formaldehyde (PF) resin-impregnated Oil Palm Trunk Lumber (OPTL): Dimensional stability and mechanical properties*. Journal of Biobased Materials and Bioenergy
- **Aditiawati, P.**, Pujobroto, A., Rudiansyah, I., Rahmadi, H. 2014. *Effect of stimulants on biogenic methane formation and dynamics of bacterial population*. Journal of Mathematical and Fundamental Sciences
- Safika, Madayanti, F., **Aditiawati, P.**, Akhmaloka. 2014. *Succession culture-independent methanogenic archaeal from manure compost*. Journal of Pure and Applied Microbiology

## 9. BUKU

- a. Chapter 9: Evaluation of the effects of decay and weathering in cellulose reinforced fiber composites. In: Durability and Life Prediction in Biocomposites, Fibre Reinforced Composites and Hybrid Composites

(Eds: M. Jawaid, M. Thariq and N. Saba). Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering, 2019. ISBN: 978-0-08-102290-0

- b. Chapter 3. Biomaterial from oil palm waste: Properties, characterization and applications. In: Palm Oil (Ed. Viduranga Waisundara). IntechOpen, 2018. ISBN: 0081019912, 9780081019917
- c. Chapter 3. Bionanomaterial from agricultural waste and its application. In: Cellulose-Reinforced Nanofibre Composites Production, Properties and Applications. (Eds: M. Jawaid, S. Boufi, HPS Abdul Khalil). Woodhead Publishing Series In Composite Science and Engineering, 2017. ISBN: 9780081009574
- d. Chapter 14. Closed Aquaculture System: Zero Water Discharge for Shrimp and Prawn Farming in Indonesia. In : Biological Resources of Water. IntechOpen, 2018. DOI: 10.5772/intechopen.70944

#### 10. HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL :

- Patogen Spread Monitoring System – Hak Cipta – No. Pendaftaran EC00201847740
- Bakteri *Pseudoxanthomonas Taiwanensis* G3 dan Sediaan Bahan Biosurfaktan dari Bakteri Tersebut untuk Aplikasi Microbial Enhanced Oil Recovery (Meor) serta Proses Produksinya – Paten – No. Pendaftaran P00201806178

#### 11. PENGHARGAAN RISET/INOVASI :

- Irawan Sugoro, D.I. Astuti, D. Sasongko, P. Aditiawati. *Bioliquefaction of Raw and Gamma Irradiated Lignite by a Fungus T5*. Third Prize of the Atom Indonesia Best Paper Award 2011 held by Journal of Atom Indonesia BATAN and Directorate General of Higher Education (DIKTI)
- Asean Engineering Award - Organized by ASEAN Federation of Engineering Organization - Yangon – Myanmar, 16-19 Desember 2001.

#### 12. PRODUK RISET/INOVASI :

- Produksi Ferofee “Fermented Coffee” (2018)
- Produksi Cokelat Melalui Proses Fermentasi Terkontrol Biji Kakao (2019)

