



**TUGAS AKHIR - TF 141581**

**KARAKTERISASI PENCIRI SPEKTRAL BIJI KOPI  
MENTAH BIASA DAN BIJI KOPI MENTAH  
LUWAK DENGAN *LASER-INDUCED  
BREAKDOWN SPECTROSCOPY (LIBS)***

**NUFIQURAKHMAH  
NRP. 2414 105 026**

**Dosen Pembimbing  
Dr.rer.nat. Ir. Aulia M. T. Nasution, M.Sc.  
Dr. Hery Suyanto**

**JURUSAN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**



**FINAL PROJECT - TF 141581**

**SPECTRAL CHARACTERIZATION OF REGULAR  
GREEN COFFEE BEAN AND LUWAK GREEN  
COFFEE BEAN USING LASER-INDUCED  
BREAKDOWN SPECTROSCOPY (LIBS)**

**NUFIQURAKHMAH  
NRP. 2414 105 026**

**Supervisors  
Dr.rer.nat. Ir. Aulia M. T. Nasution, M.Sc.  
Dr. Hery Suyanto**

**DEPARTEMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**

**KARAKTERISASI PENCIRI SPEKTRAL BIJI KOPI  
MENTAH BIASA DAN BIJI KOPI MENTAH LUWAK  
DENGAN *LASER-INDUCED BREAKDOWN  
SPECTROSCOPY (LIBS)***

**TUGAS AKHIR**

Oleh :  
**NUFIURAKHMAH**  
NRP : 2414 105 026

Surabaya, Juli 2016  
Mengetahui/Menyetujui,

**Pembimbing I**



**Dr. rer. nat. Ir. Aulia M. T. Nasution, M.Sc**  
NIP. 19671117 199702 1 001

**Pembimbing II**



**Dr. Hery Suyanto**  
NIP. 19630421 199003 1 015

**Ketua Jurusan  
Teknik Fisika FT1 – ITS**



**Agus M. Hatta, S.T., M.Si, Ph.D.**  
NIP. 19780902 200312 1 002

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

**KARAKTERISASI PENCIRI SPEKTRAL BIJI KOPI  
MENTAH BIASA DAN BIJI KOPI MENTAH LUWAK  
DENGAN *LASER-INDUCED BREAKDOWN  
SPECTROSCOPY (LIBS)***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa Fotonika  
Program Studi S-1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh  
**NUFIQURAKHMAH**  
NRP. 2414 105 026

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr rer nat Ir. Aulia M. T. Nasution MSc.  (Pembimbing I)
2. Dr. Hery Suyanto  (Pembimbing II)
3. Agus Muhamad Harta, ST, MSc, Ph.D  (Ketua Penguji)
4. Prof. Dr Ir Sekartedjo, MSc  (Penguji I)
5. Dyah Sawitri, ST, MT  (Penguji II)

**SURABAYA  
JULI 2016**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

**KARAKTERISASI PENCIRI SPEKTRAL BIJI KOPI MENTAH  
BIASA DAN BIJI KOPI MENTAH LUWAK DENGAN *LASER-  
INDUCED BREAKDOWN SPECTROSCOPY (LIBS)***

**Nama Mahasiswa : NUFIQURAKHMAH**  
**NRP : 2411100089**  
**Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS**  
**Dosen Pembimbing I : Dr.rer.nat.Ir.Aulia M. T. Nasution M.Sc**  
**Dosen Pembimbing II : Dr. Hery Suyanto**

***Abstrak***

Kopi luwak adalah kopi khas Indonesia yang berasal dari buah kopi yang dimakan oleh luwak (*Paradoxurus Hermaphroditus*) dan bijinya dikeluarkan bersama kotorannya dalam bentuk biji HS (*hard skin*). Kopi ini merupakan kopi termahal di dunia sehingga penentuan kualitas menjadi sangat penting. Selama ini penentuan kualitas kopi masih dilakukan oleh pencicip kopi sehingga bersifat subjektif. *Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS)* adalah metode spektroskopi atomik yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi kandungan unsur biji kopi biasa dan biji kopi luwak berdasarkan karakter spektralnya. Pada penelitian ini digunakan pada enam pasang sampel biji kopi mentah biasa dan luwak dari wilayah Jawa Timur untuk dianalisis dengan LIBS. Pengolahan data LIBS dilakukan dengan perhitungan pada luas area daerah yang terdapat puncak. Metode rasio intensitas diterapkan dengan membandingkan unsur – unsur N, H, dan O sebagai unsur penting penyusun senyawa pada kopi dengan unsur utama. Hasil perbandingan diperoleh nilai rasio intensitas luwak lebih tinggi dengan nilai kenaikan 0,03% - 79,93%. *Discriminant Function Analysis (DFA)* juga diterapkan untuk mengidentifikasi unsur yang mencirikan biji kopi mentah biasa dan biji kopi mentah luwak. Untuk penciri biji kopi mentah biasa dan luwak arabika digunakan unsur - unsur Ca, W, Sr, Mg, dan H, sedangkan untuk penciri biji kopi mentah robusta digunakan unsur – unsur Ca dan W.

***Kata kunci* : Biji kopi mentah, kopi luwak, LIBS, unsur penting, spektral**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **SPECTRAL CHARACTERIZATION OF REGULAR GREEN COFFEE BEAN AND LUWAK GREEN COFFEE BEAN USING LASER-INDUCED BREAKDOWN SPECTROSCOPY (LIBS)**

**Student's Name : NUFIQURAKHMAH**  
**NRP : 2411100089**  
**Departement : Engineering Physics**  
**Supervisor I : Dr.rer.nat.Ir.Aulia M. T. Nasution M.Sc**  
**Supervisor II : Dr. Hery Suyanto**

### ***Abstrak***

*Kopi Luwak (luwak coffee) is Indonesian coffee, where the cherries were priorly digested by a civet (Paradoxurus Hermaphroditus) and they were taken out along with feces in the form of hard skin seeds. This coffee is the most expensive coffee in the world so that the determination of the quality to be very important. During this time, the quality of the coffee is still determined by the tester which it is subjective. Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) is the atomic spectroscopy methods that can be used to identify the element content of the regular coffee beans and luwak coffee beans based on its spectral character. This research, used six pairs of samples of regular green coffee beans and luwak green coffee beans from East Java are analyzed by LIBS. LIBS data processing method was performed by calculated the peak area. The intensity ratio of N, H, and O as essential elements constituent compounds in coffee was applied with comparing the elements with the host element. The comparison results obtained that the intensity ratio values of luwak coffee bean is higher with increases 0.03% - 79.93%. Discriminant Function Analysis (DFA) was applied to identify the elements that characterize the regular and luwak coffee beans. Marker elements of coffee beans were identified by this method. Ca, W, Sr, Mg, and H were used to differentiate the regular and luwak coffee beans of arabica, while Ca and W were used to differentiate the regular and luwak coffee beans of robusta.*

***Keywords : green beans, luwak coffee, LIBS, essential elements, spectral***

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR ISI

|                                                              |      |
|--------------------------------------------------------------|------|
| Lembar Pengesahan.....                                       | iii  |
| Abstrak .....                                                | vii  |
| <i>Abstract</i> .....                                        | ix   |
| Kata Pengantar .....                                         | xi   |
| Daftar Isi .....                                             | xiii |
| Daftar Gambar .....                                          | xv   |
| Daftar Tabel.....                                            | xvii |
| Bab I Pendahuluan.....                                       | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....                                     | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                    | 3    |
| 1.3 Tujuan.....                                              | 3    |
| 1.4 Batasan Masalah.....                                     | 3    |
| 1.5 Sistematika Laporan .....                                | 4    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....                                | 7    |
| 2.1 Kopi.....                                                | 7    |
| 2.1.1 Proses Pengolahan Kopi .....                           | 8    |
| 2.1.2 Penentuan Kualitas Kopi.....                           | 9    |
| 2.1.3 Kandungan Senyawa Pada Biji Kopi .....                 | 10   |
| 2.1.3.1 Asam.....                                            | 10   |
| 2.1.3.2 Kafein .....                                         | 10   |
| 2.1.3.3 Trigonelin .....                                     | 11   |
| 2.1.3.4 Karbohidrat.....                                     | 11   |
| 2.1.3.5 Protein .....                                        | 11   |
| 2.1.3.6 Lipid .....                                          | 11   |
| 2.1.3.7 Mineral .....                                        | 11   |
| 2.2 Kopi Luwak .....                                         | 12   |
| 2.3 <i>Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)</i> ..... | 13   |
| 2.3.1 LASER.....                                             | 14   |
| 2.3.2 Interaksi Laser dengan Bahan.....                      | 16   |
| 2.3.3 Spektrometer.....                                      | 17   |
| 2.4 Metode Deteksi Plasma dengan LIBS .....                  | 18   |
| 2.5 Rasio Intensitas.....                                    | 20   |
| 2.6 DFA ( <i>Discriminant Function Analysis</i> ) .....      | 20   |
| 2.7 NIST .....                                               | 21   |

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....                                                           | 23 |
| 3.1 Studi Literatur.....                                                                      | 24 |
| 3.2 Pengumpulan Sampel Biji Kopi Mentah .....                                                 | 24 |
| 3.3 Pemilihan Sampel Uji.....                                                                 | 25 |
| 3.4 Pengujian Sampel .....                                                                    | 25 |
| 3.4.1 Komponen Pengujian.....                                                                 | 25 |
| 3.4.2 Penentuan Kondisi Optimum Pengujian.....                                                | 26 |
| 3.4.2.1 <i>Set-up</i> Alat Pengujian.....                                                     | 26 |
| 3.4.2.2 Karakterisasi Kondisi Optimum Pengujian .....                                         | 27 |
| 3.4.3 Pengambilan Data .....                                                                  | 28 |
| 3.4.4 Validasi dengan NIST.....                                                               | 29 |
| 3.5 Pengolahan Data Hasil Pengujian .....                                                     | 29 |
| 3.5.1 Rasio Intensitas.....                                                                   | 31 |
| 3.5.2 <i>Discriminant Function Analysis</i> (DFA).....                                        | 31 |
| 3.6 Penyusunan Laporan .....                                                                  | 31 |
| BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....                                                     | 33 |
| 4.1 Spektra Sampel Biji Kopi Mentah.....                                                      | 33 |
| 4.2 Perbandingan Unsur Dengan Metode Rasio Intensitas<br>Ternormalisasi .....                 | 36 |
| 4.3 Analisis perbandingan unsur dengan DFA<br>( <i>Discriminant Function Analysis</i> ) ..... | 40 |
| 4.3.1 Analisis Fungsi Diskriminan (DFA) Dua Faktor<br>untuk Kopi Arabika .....                | 40 |
| 4.3.2 Analisis Fungsi Diskriminan (DFA) Dua Faktor<br>untuk Kopi Robusta .....                | 43 |
| BAB V PENUTUP .....                                                                           | 45 |
| 5.1 Kesimpulan.....                                                                           | 45 |
| 5.2 Saran.....                                                                                | 45 |
| DAFTAR PUSTAKA.....                                                                           | 47 |
| Lampiran A                                                                                    |    |
| Lampiran B                                                                                    |    |
| Lampiran C                                                                                    |    |
| Lampiran D                                                                                    |    |
| Lampiran E                                                                                    |    |

## DAFTAR GAMBAR

|                    |                                                                                                                                                                                           |    |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 2.1</b>  | Proses pengolahan kopi kering (kiri) dan basah (kanan) .....                                                                                                                              | 8  |
| <b>Gambar 2.2</b>  | Gugus Fungsi Kafein.....                                                                                                                                                                  | 10 |
| <b>Gambar 2.3</b>  | Biji Kopi Berkulit Cangkang Bersama Feses Luwak .....                                                                                                                                     | 12 |
| <b>Gambar 2.4</b>  | Konfigurasi Sistem LIBS Konvensional .....                                                                                                                                                | 13 |
| <b>Gambar 2.5</b>  | Spektrum Ca(I) dan H(I) .....                                                                                                                                                             | 14 |
| <b>Gambar 2.6</b>  | (a) Diagram Kerja Laser Zat Padat dan (b) Tiga Tingkat Energi Laser.....                                                                                                                  | 15 |
| <b>Gambar 2.7</b>  | Skematik Proses Pembentukan Plasma .....                                                                                                                                                  | 16 |
| <b>Gambar 2.8</b>  | Skematik Monokromator .....                                                                                                                                                               | 17 |
| <b>Gambar 2.9</b>  | Skematik Waktu Deteksi Plasma .....                                                                                                                                                       | 19 |
| <b>Gambar 2.10</b> | Plasma primer (daerah putih) dan plasma sekunder (daerah putih keunguan) .....                                                                                                            | 19 |
| <b>Gambar 3.1</b>  | Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir .....                                                                                                                                                 | 24 |
| <b>Gambar 3.2</b>  | Sistem Pengujian dengan LIBS.....                                                                                                                                                         | 26 |
| <b>Gambar 3.3</b>  | <i>Background</i> Pengujian .....                                                                                                                                                         | 27 |
| <b>Gambar 3.4</b>  | Spektra Sampel Biji Kopi Arabika dengan Berbagai <i>Delay Time Detection</i> pada Energi Laser 20 mJ .....                                                                                | 28 |
| <b>Gambar 3.5</b>  | Unsur Ca(I) pada Panjang Gelombang 443.496 nm dan 445.4781 nm.....                                                                                                                        | 29 |
| <b>Gambar 3.6</b>  | Tahapan Pengolahan Data.....                                                                                                                                                              | 30 |
| <b>Gambar 3.7</b>  | Metode Integral untuk Menentukan Luas Area..                                                                                                                                              | 30 |
| <b>Gambar 3.8</b>  | Tahapan Perhitungan DFA.....                                                                                                                                                              | 31 |
| <b>Gambar 4.1</b>  | Spektra Biji Kopi Mentah Arabika Biasa (atas) dan Luwak (bawah) .....                                                                                                                     | 33 |
| <b>Gambar 4.2</b>  | Spektra Biji Kopi Mentah Robusta Biasa (atas) dan Luwak (bawah).....                                                                                                                      | 34 |
| <b>Gambar 4.3</b>  | Rasio Intensitas terhadap Unsur Utama, (a) N(I)/Ca(I) Arabika, (b) N(I)/Ca(I) Robusta, (c) H(I)/Ca(I) Arabika, (d) H(I)/Ca(I) Robusta, (e) O(I)/Ca(I) Arabika, (f) O(I)/Ca(I) Robusta ... | 38 |

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR TABEL

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabel 2.1</b> Syarat Mutu Umum Biji Kopi .....                          | 9  |
| <b>Tabel 3.1</b> Kategori Sampel Biji Kopi Mentah Biasa dan<br>Luwak ..... | 25 |
| <b>Tabel 4.1</b> Unsur-Unsur Utama Terkandung Dalam Biji Kopi..            | 35 |
| <b>Tabel 4.2</b> Rasio Intensitas Arabika .....                            | 39 |
| <b>Tabel 4.3</b> Rasio Intensitas Robusta .....                            | 39 |
| <b>Tabel 4.4</b> <i>Test of Equality of Group Means</i> (Arabika) .....    | 41 |
| <b>Tabel 4.5</b> <i>Canonical Discriminant Function</i> (Arabika).....     | 42 |
| <b>Tabel 4.6</b> <i>Functions at Group Centroids</i> (Arabika).....        | 42 |
| <b>Tabel 4.7</b> <i>Test of Equality of Group Means</i> (Robusta) .....    | 43 |
| <b>Tabel 4.8</b> <i>Canonical Discriminant Function</i> (Robusta) .....    | 43 |
| <b>Tabel 4.9</b> <i>Functions at Group Centroids</i> (Robusta) .....       | 43 |

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kopi (*coffea sp.*) merupakan salah satu minuman yang paling banyak dikonsumsi di dunia. Berdasarkan data International Coffee Organization (ICO) konsumsi kopi meningkat rata-rata 2,4% sejak 2011. Hal ini menunjukkan kopi termasuk salah satu komoditas penting dalam dunia perdagangan. Kopi tercatat sebagai komoditas dagang terbesar kedua di dunia setelah minyak. Indonesia tercatat sebagai negara produksi dan eksportir kopi terbesar keempat di dunia setelah Brazil, Vietnam, dan Colombia.

Kopi terdiri dari beberapa jenis, diantaranya robusta (*canepora*) dan arabika (*arabica*) yang paling banyak dikonsumsi di dunia. Sebelum dapat dikonsumsi menjadi minuman, kopi mengalami proses yang cukup panjang. Dimulai dari pemanenan, fermentasi, pengeringan, penyangraian dengan derajat dan waktu yang bervariasi, sampai penggilingan menjadi bubuk kopi. Variasi proses pengolahan kopi ini menentukan kualitas yang dihasilkan dan menentukan harga jual kopi.

Di Indonesia, terdapat salah satu jenis kopi yang termasuk kopi termahal di dunia, yaitu kopi luwak. Kopi luwak berasal dari buah kopi yang dicerna oleh luwak dan bijinya dikeluarkan bersama kotorannya dalam bentuk biji HS (*hard skin*). Di dalam perut luwak terdapat enzim tertentu yang menyebabkan terjadinya proses enzimatik untuk memecah protein serta membantu proses fermentasi singkat pada biji kopi. Hal ini berpengaruh pada kandungan maupun komposisi unsur yang muncul selama proses pencernaan di dalam perut luwak sehingga menghasilkan cita rasa yang unik. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kopi luwak memiliki karakter yang berbeda dengan kopi biasa secara fisik (Fuferti, dkk., 2013), cita rasa (Yusiyanto, dkk., 2010), serta komposisi kimia dan nilai sensorinya (Mahendradatta, dkk., 2013). Kopi mengandung kafein ( $C_8H_{10}N_4O_2$ ), trigonelin ( $C_7H_7NO_2$ ), asam klorogenat ( $C_{16}H_{18}O_9$ ), asam amino (COOH-R-

$\text{NH}_2$ ), peptida ( $-\text{CO}-\text{NH}-$ ), asam sitrat ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ ), asam malat ( $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$ ), dan senyawa lainnya yang sangat kompleks sehingga sulit untuk menentukan kandungan khas yang mencirikan kualitasnya. Selama ini, penentuan kualitas kopi masih bergantung pada seorang *tester* atau orang yang bertugas mencicipi kopi sehingga bersifat subjektif. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk menentukan komposisi kandungan kopi sehingga kualitas kopi dapat terstandarkan. Salah satu teknik yang dapat digunakan adalah teknik spektroskopi, yaitu teknik yang dilakukan dengan menginteraksikan cahaya dengan objek (kopi) sehingga diperoleh informasi spektralnya.

*Laser induced breakdown spectroscopy* (LIBS) adalah spektroskopi emisi atom yang menggunakan laser pulsa sebagai sumber eksitasi. Laser difokuskan untuk menghasilkan plasma yang mengatomisasi sampel menjadi bagian-bagian yang sangat kecil. Berbagai jenis material seperti padatan, cairan, dan gas dapat dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif dengan menggunakan LIBS. Metode LIBS memiliki keunggulan, diantaranya memiliki cepat, akurat, memiliki sensitivitas yang tinggi, penggunaan sampel sedikit serta tidak perlu dilakukan *pre-treatment* (Kim dan Lin, 2012). Metode ini banyak diaplikasikan pada berbagai bidang, salah satunya bidang teknologi pangan untuk mengidentifikasi unsur kimia penyusun suatu bahan.

Pada penelitian ini dilakukan identifikasi kandungan biji kopi dari dua proses berbeda untuk jenis kopi robusta dan arabika. Kopi yang dijadikan sampel uji adalah biji kopi hijau (*green bean*) yang telah dikeringkan dari proses biasa dibandingkan dengan biji kopi yang telah dicerna oleh luwak. Komposisi unsur pada biji kopi ini ditampilkan dalam bentuk spektra emisi atom dengan teknik LIBS. Teknik ini berfungsi memetakan unsur-unsur yang mencirikan kedua jenis biji kopi mentah tersebut. Informasi unsur biji kopi mentah diperoleh dengan perangkat AddLIBS. Sementara pengolahan data secara statistik dilakukan dengan beberapa perangkat lunak, yaitu Microsoft Excel, Origin, dan SPSS.

Proses identifikasi pertama difokuskan pada unsur N, H, dan O yang merupakan unsur utama penyusun senyawa pada material organik, termasuk kopi. Ketiga unsur utama tersebut selanjutnya dibandingkan dengan unsur Ca yang merupakan unsur utama yang mencol pada biji kopi dengan metode rasio intensitas. Metode *Discriminant Function Analysis* (DFA) juga diterapkan untuk mengidentifikasi unsur yang mencirikan biji kopi mentah biasa dan biji kopi mentah luwak.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun permasalahan yang diangkat dari latar belakang adalah bagaimana perbedaan karakter spektral unsur biji kopi mentah dari proses pengolahan biasa dan pengolahan oleh luwak.

## **1.3 Tujuan**

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah :

- a. Mengetahui karakter spektral biji kopi mentah yang diproses biasa dibandingkan dengan biji kopi mentah hasil pencernaan oleh luwak dari jenis arabika dan robusta menggunakan teknik LIBS.
- b. Mengidentifikasi unsur-unsur penciri pada biji kopi mentah biasa dan biji kopi mentah luwak berdasarkan spektralnya.

## **1.4 Batasan Masalah**

Beberapa batasan masalah yang ditetapkan pada Tugas Akhir ini adalah :

- a. Kopi yang digunakan dari jenis kopi arabika dan robusta dari Jawa Timur.
- b. Biji kopi yang digunakan adalah biji kopi hijau (*green bean*) yang telah dikeringkan.
- c. Biji kopi luwak berasal dari buah kopi yang dicerna oleh luwak kandang.
- d. Proses analisis difokuskan untuk mencari unsur khas berdasarkan karakteristik spektral kopi dari dua proses berbeda, yaitu proses biasa dan proses yang melalui pencernaan dari luwak.

- e. Sistem LIBS yang digunakan dalam pengujian adalah terdiri dari spektrometer HR 2500+, tempat sampel, dan Nd:YAG laser (model CRF 200mJ, 1.604 nm, 7 ns).
- f. Pengujian dilakukan pada energi 120 mJ, *delay* 1  $\mu$ s, akumulasi 3, dan kondisi lingkungan gas 1 atmosfer.
- g. Pengolahan dengan metode rasio intensitas difokuskan pada beberapa unsur penting, yaitu H (Hidrogen), N (Nitrogen), dan O (Oksigen) terhadap unsur utama Ca (kalsium).
- h. Identifikasi unsur penciri biji kopi mentah biasa dan luwak dengan metode *Discriminant Function Analysis* (DFA).

### 1.5 Sistematika Laporan

Laporan tugas akhir ini tersusun dari lima bab yang tersusun secara sistematis dengan rincian sebagai berikut:

## BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika laporan pada penulisan laporan tugas akhir ini.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan mengenai beberapa teori dasar yang menunjang penelitian tugas akhir ini, diantaranya mengenai kopi secara umum, kopi luwak, kandungan senyawa dan unsur pada kopi, *laser-induced breakdown spectroscopy* (LIBS) termasuk di dalamnya komponen penting pada LIBS dan interaksi laser dengan material, metode perhitungan rasio intensitas dan DFA (*discriminant function analysis*) serta NIST (*National Institute of Standards and Technology*)

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memberikan penjelasan detail mengenai tahapan-tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan mengenai hasil pengujian karakterisasi biji kopi mentah biasa dengan biji kopi mentah luwak. Secara

umum dijelaskan hasil plot spektra biji kopi mentah, selanjutnya dijelaskan mengenai hasil pengolahan dengan rasio intensitas untuk N, H, dan O sebagai unsur – unsur penting pada biji kopi. Terdapat pula hasil analisis dengan *Discriminant Function Analysis* (DFA) untuk mengidentifikasi penciri unsur yang membedakan antara biji kopi mentah biasa dan biji kopi mentah luwak.

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini terdiri dari kesimpulan dari hasil penelitian tugas akhir ini dan saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kopi

Kopi (*coffea sp.*) merupakan salah satu minuman yang paling banyak dikonsumsi di dunia. Sejak pertama kali ditemukan di Ethiopia, kopi dapat dinikmati oleh semua kalangan di seluruh dunia tanpa dibatasi kasta, ras, maupun agama. Konsumsi kopi rata-rata meningkat 2,4% sejak 2011. Hal ini menunjukkan kopi termasuk salah satu komoditas penting dalam dunia perdagangan. Kopi tercatat sebagai komoditas dagang terbesar kedua di dunia setelah minyak. Berdasarkan data International Coffee Organization (ICO), pada 2014/2015 total produksi kopi dunia mencapai US \$143,25 juta. Indonesia merupakan negara produksi dan eksportir kopi terbesar keempat di dunia setelah Brazil, Vietnam, dan Colombia. Asosiasi eksportir dan Industri Kopi Indonesia (AEKI) melaporkan volume ekspor kopi Indonesia rata-rata berkisar 350 ribu ton per tahun meliputi kopi robusta (80%), arabika (19%), dan liberika (1%).

Kopi termasuk tanaman perdu dengan klasifikasi sebagai berikut (Rahardjo, 2012).

Kingdom : *Plantae*

Divisi : *Magnoliophyta*

Kelas : *Magnoliopsida*

Ordo : *Gentianaceae*

Famili : *Rubiaceae*

Genus : *Coffea*

Spesies : *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, *Coffea liberica*

Secara umum, terdapat dua jenis kopi yang paling banyak dikonsumsi di dunia, yaitu kopi arabika dan robusta. Kopi arabika merupakan kopi yang paling banyak dibudidayakan dan dikonsumsi di dunia. Tanaman kopi ini dapat tumbuh di dataran tinggi, yaitu sekitar 800 meter dari permukaan laut. Bijinya cenderung lonjong, gepeng, berwarna lebih hijau dan memiliki rasa yang lebih ringan, asam dan sedap. Sedangkan kopi robusta dapat tumbuh pada ketinggian 500 – 800 meter dari permukaan

laut. Bijinya cenderung lebih bulat dan coklat serta memiliki rasa lebih pahit dan kandungan kafeinnya lebih banyak 50% dari arabika.

### 2.1.1 Proses Pengolahan Kopi

Secara umum terdapat dua jenis proses pengolahan, yaitu proses basah dan proses kering. Perbedaan kedua proses terletak pada ada dan tidaknya proses fermentasi. Fermentasi umumnya dilakukan untuk penanganan kopi arabika, bertujuan untuk menguraikan lapisan lendir yang ada di permukaan kulit tanduk biji kopi. Selain itu, fermentasi mengurangi rasa pahit dan mendorong terbentuknya kesan “*mild*” pada citarasa seduhan kopi arabika. Sedangkan pada kopi robusta fermentasi dilakukan hanya untuk menguraikan lapisan lendir yang ada di permukaan kulit tanduk (Permentan No.52 tahun 2012).



**Gambar 2.1** Proses pengolahan kopi kering (kiri) dan basah (kanan) (Permentan No. 52 tahun 2012)

Perlakuan kopi pada tahap panen, pasca panen dan pengolahannya sangat berpengaruh terhadap kualitas biji yang

dihasilkan. Pengolahan basah diklaim menghasilkan kualitas kopi yang lebih baik karena menghasilkan biji cacat lebih sedikit dan aroma yang lebih baik (Lee, dkk., 2015)

### 2.1.2 Penentuan Kualitas Kopi

Dalam menjaga kualitas kopi, diperlukan standar mutu sebagai tolok ukur dalam pengawasan mutu dan merupakan perangkat pemasaran dalam menghadapi klaim dari konsumen dan dalam memberikan umpan balik ke bagian pabrik dan bagian kebun. Standar Nasional Indonesia biji kopi yang telah dikeluarkan oleh Badan Standardisasi Nasional yaitu SNI Nomor 01-2907-2008.

**Tabel 2.1** Syarat Mutu Umum Biji Kopi (Permentan No. 52 tahun 2012)

| No | Jenis Uji                                                               | Satuan | Syarat    |
|----|-------------------------------------------------------------------------|--------|-----------|
| 1  | Kadar air, (b/b)                                                        | %      | Maks 12,5 |
| 2  | Kadar kotoran berupa ranting, batu, tanah dan benda-benda asing lainnya | %      | Maks 0,5  |
| 3  | Serangga hidup                                                          | -      | Tidak ada |
| 4  | Biji berbau busuk dan berbau kapang                                     | -      | Tidak ada |

Selain pengujian fisik, penentuan kualitas kopi juga ditentukan oleh cita rasanya. Mengacu pada standar *Specialty Coffee Association of America* (SCAA) dalam segelas kopi terdapat beberapa parameter yang dinilai meliputi: aroma (bau aroma saat diseduh), *flavour* (rasa di lidah), *body* (kekentalan), *acidity* (keasaman), *aftertaste* (rasa yang tertinggal di mulut), *swetness* (rasa manis), *balance* (aspek keseimbangan rasa), *clean cup* (kesan rasa umum), *uniformity* (adanya keseragaman rasa dari tiap cangkir), dan *overall* (aspek rasa keseluruhan) (Rubiyo dan Towaha, 2013).

### 2.1.3 Kandungan Senyawa Pada Biji Kopi

Kopi tersusun atas berbagai senyawa yang sangat kompleks, diantaranya : asam, karbohidrat, alkaloid, protein, dan lipid.

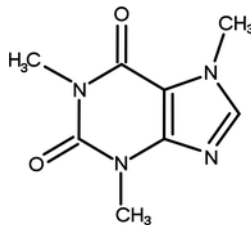
#### 2.1.3.1 Asam

Beberapa asam penting yang berperan dalam menentukan tingkat keasaman kopi, diantaranya:

- Asam quinic ( $C_7H_{12}O_6$ ), berperan dalam total keasaman pada kopi.
- Asam sitrat ( $C_6H_8O_7$ ), berperan dalam siklus metabolic tanaman kopi dan pada biji kopi mentah berpengaruh besar terhadap total keasaman kopi.
- asam asetat ( $C_2H_4O_2$ ), berperan penting dalam penentuan kualitas kopi. senyawa ini muncul akibat proses fermentasi.
- Asam klorogenik ( $C_{16}H_{18}O_9$ ), berperan dalam memberikan rasa pahit dan keasaman pada seduhan kopi.
- Asam malat ( $C_4H_6O_5$ ), kandungan organik yang berasal dari organisme hidup.

#### 2.1.3.2 Kafein

Kafein ( $C_8H_{10}N_4O_2$ ) adalah senyawa alkaloid xantina berbentuk kristal dan berasa pahit yang bekerja sebagai obat perangsang psikoaktif dan diuretik ringan.



**Gambar 2.2** Gugus Fungsi Kafein (coffechemistry.com)

Meskipun kafein memiliki rasa pahit, rasa pahit pada seduhan kopi ditentukan oleh hubungan antara kafein dan komponen lainnya seperti lemak dan asam klorogenat.

### 2.1.3.3 Trigonelin

Trigonelin ( $C_7H_7NO_2$ ) berkontribusi dalam memberikan rasa pahit pada seduhan kopi dan menentukan aroma kopi. Jumlah trigonelin pada kopi robusta umumnya 2-3 kali lebih banyak dari kopi arabika.

### 2.1.3.4 Karbohidrat

Kadar karbohidrat pada biji kopi dapat mencapai 50%. Sukrosa berperan penting menentukan tingkat keasaman, aroma, dan rasa secara keseluruhan. Selain itu, juga terdapat fruktosa, glukosa, mannos, arabinose, dan *rhamnose*.

### 2.1.3.5 Protein

Protein tersusun atas komponen yang lebih kecil, yaitu asam amino. Asam amino tersusun atas amine ( $-NH_2$ ) dan asam karboksilat ( $-COOH$ ). Protein berperan dalam penentuan aroma, rasa, dan warna kopi selama proses penyangraian.

### 2.1.3.6 Lipid

Lipid terdiri atas beberapa senyawa seperti asam lemak, sterol, trigliserid, dll. Kandungan lipid hanya sekitar 15-17% pada biji kopi tapi keberadaannya penting untuk menjaga kesegaran kopi.

### 2.1.3.7 Mineral

Mineral kopi terdiri dari lebih dari 30 unsur. Kopi tidak hanya mengandung unsur-unsur C, N, H, dan O yang menyusun senyawa kopi, tetapi juga mengandung beberapa unsur-unsur lainnya. Meskipun kandungan unsur pada kopi hanya sekitar 5% (m/m), tetapi dapat digunakan sebagai indikator yang baik untuk kepentingan otentikasi kopi. Beberapa metode analisis unsur seperti *Flame atomic absorption spectrometry* (FAAS) dan *inductively coupled plasma opticaemission spectrometry* (ICP-OES) mendeteksi adanya unsur-unsur mayor di dalam kopi diantaranya Ca (kalsium), K (kalium), Mg (magnesium), Na (natrium), P (fosfor), dan S (sulfur). Selain itu, juga terdapat unsur-unsur minor seperti Cl (klorin), Co (kobalt), Cr (kromium), Cu (tembaga), Fe (besi), Mn (mangan), Ni (nikel), Se (selenium),

Sr (stransium), dan Zn (zinc) (Pohl, 2012). Unsur-unsur ini berbeda untuk setiap kopi tergantung dari daerah tempat kopi tumbuh, pupuk yang digunakan, serta lingkungan sekitar tempat tumbuhnya kopi.

## 2.2 Kopi Luwak

Kopi luwak adalah kopi khas Indonesia yang berasal dari buah kopi yang dimakan oleh luwak (*Paradoxurus Hermaphroditus*) (Fukusaki dkk., 2013). Proses pemakanan ini mirip proses *pulping* (pengupasan kulit buah kopi) pada proses basah. Luwak hanya memilih buah dengan tingkat kematangan optimum sehingga kualitas kopi luwak dinilai sangat baik (Rubiyo dan Towaha, 2013). Hal ini juga dipengaruhi oleh sedikitnya biji cacat yang ditemukan pada biji kopi luwak, sama halnya dengan proses basah.

Luwak memiliki organ saluran pencernaan yang sederhana dengan lambung tunggal dan usus relatif pendek. Lambung luwak menghasilkan asam klorida (HCl) dalam jumlah besar. HCl berfungsi memfasilitasi pemecahan protein dan membunuh mikroba/bakteri patogen yang terdapat pada makanannya (Hadipernata dan Nugraha, 2012). Kopi yang dimakan oleh luwak akan mengalami proses pencernaan yang relatif singkat, sehingga hanya kulit buahnya yang tercerna sedangkan bijinya (berkulit tanduk/cangkang) akan dikeluarkan bersama fesesnya (Permentan No. 37 Tahun 2015).



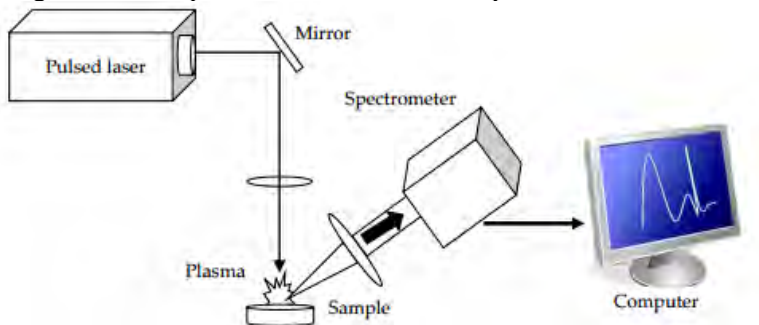
**Gambar 2.3** Biji Kopi Berkulit Cangkang Bersama Feses Luwak

Pencernaan di perut luwak mengkombinasikan keasaman, enzim dan proses fermentasi sehingga berpengaruh pada rasa dan aroma kopi. Proses *enzimatis* yang berlangsung berfungsi memecah protein (*protease*) di dalam lambung luwak. Akibatnya, kadar protein pada biji kopi terurai menjadi asam – asam amino

sehingga mengurangi rasa pahit, bau lebih harum, serta asam amino bebas meningkat (Marcone, 2004). Sementara itu, proses fermentasi sangat berpengaruh terhadap aroma kopi yang dihasilkan. Proses ini dilakukan oleh beberapa mikroorganisme, seperti bakteri dan ragi (*yeast*). Meskipun proses ini menurunkan pH, tetapi populasi ragi dominan sehingga mampu mentoleransi tingkat keasaman yang tinggi (Avallone, dkk., 2001; Lee, dkk., 2015). Kadar asam sitrat, asam malat dan perbandingan antara kadar inositol dan asam piroglutamat dapat dijadikan penanda (*marker*) untuk menilai keaslian kopi luwak. Penanda tersebut memiliki kadar kandungan yang lebih tinggi pada kopi luwak (Putri, dkk 2013). Sementara itu, kafein ( $C_8H_{10}N_4O_2$ ) justru memiliki kadar yang lebih rendah pada kopi luwak dibandingkan kopi biasa (Permentan No 37/2015).

### 2.3 Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)

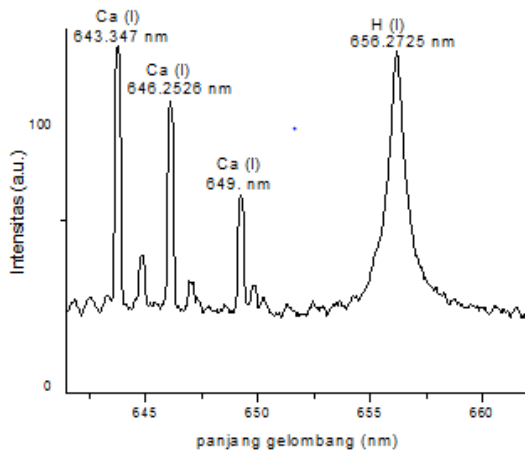
*Laser-Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS) adalah teknik spektroskopi emisi atomik yang menggunakan laser pulsa energi tinggi untuk menghasilkan plasma pada area sampel yang kecil (Kim dan Lin, 2012). Emisi foton dapat digunakan menganalisis sampel secara kuantitatif maupun kualitatif.



**Gambar 2.4** Konfigurasi Sistem LIBS Konvensional (Kim dan Lim, 2014)

Plasma berisikan elektron-elektron, ion-ion, atom-atom netral dan atom-atom tereksitasi akibat adanya gelombang kejut (*shock wave*) yang terjadi sesaat setelah kompresi adiabatik.

Dalam waktu yang sangat singkat atom-atom yang tereksitasi kembali ke keadaan awal (*ground state*) sambil mengemisikan foton dengan panjang gelombang sesuai jenis atomnya. Selanjutnya emisi foton melewati spektrometer dan oleh detektor ditampilkan dalam bentuk spektra berupa grafik hubungan antara intensitas emisi foton dan panjang gelombang. Intensitas menyatakan konsentrasi unsur dalam bahan dan panjang gelombang menyatakan jenis unsurnya.



**Gambar 2.5** Spektrum Ca(I) dan H(I)

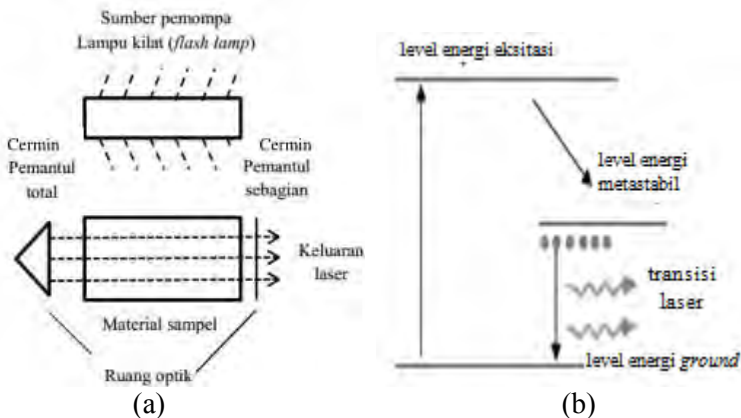
Kualitas spektrum tergantung dari karakter plasma yang ditentukan oleh energi ionisasi, temperatur plasma, dan densitas elektron (Cremers dan Radziemski, 2013). Proses pendeteksian pada sistem LIBS ditentukan oleh tiga bagian penting, yaitu: laser, sampel, dan spektrometer. Sistem kontrol diperlukan untuk mengatur waktu dan rekaman spektrum.

### 2.3.1 LASER

LASER adalah singkatan dari *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, artinya penguatan cahaya oleh emisi radiasi yang terangsang. Laser memiliki sifat yang tidak dimiliki sumber cahaya lain, yaitu monokromatik (frekuensinya sama), koheren (beda fasa konstan), *brightness* (cahaya

kuat/memiliki kecerahan tinggi), dan *directivity* (arahnya sama) sehingga cahayanya sangat kuat dan terkonsentrasi serta memiliki sudut divergensi yang kecil (Svelto, Orazio, 1989).

Laser terdiri atas tiga komponen dasar yaitu medium aktif/material lasing (kristal, gas, maupun semikonduktor), sumber pemompa (seperti *flash lamp*, *electrical current*) yang menyediakan energi yang dibutuhkan untuk terjadinya *population inversion*, dan *optical cavity* yang terdiri dari dua cermin (cermin pemantul sempurna dan cermin pemantul sebagian) untuk memproduksi sinar terarah. Pada laser, medium aktif harus memiliki tingkat energi metastabil (*metastable state*) selain *ground state* dan *excited state*.



**Gambar 2.6** (a) Diagram Kerja Laser Zat Padat dan (b) Tiga Tingkat Energi Laser (Laser tutorial, 2014)

Cara kerja laser dilandasi oleh teori Einstein. Laser dihasilkan dari proses relaksasi elektron, yaitu berdasarkan pada fenomena emisi spontan dan emisi terstimulasi.

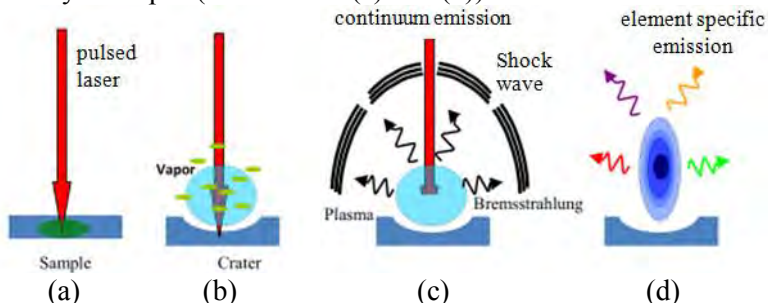
Diagram pada Gambar 2.6 menggambarkan proses sebagai berikut : ketika atom tereksitasi oleh cahaya dari *flash lamp* maka elektron-elektron melompat dari keadaan dasar di tingkat *ground state* menuju keadaan terksitasi dengan menyerap foton. Elektron-elektron ini akan meluruh melalui dua cara, pertama peluruhan elektron secara spontan dimana elektron

secara langsung meluruh ke level energi lebih rendah sambil melepaskan atau mengemisikan energi dalam arah dan fase acak. Kedua peluruhan secara terangsang (*stimulated*) yang terjadi akibat adanya proses amplifikasi karena energi yang dipompa dari sumber pemompa. Proses ini menyebabkan terjadinya inversi populasi (*population inversion*). Selanjutnya, sebagian foton dari hasil peluruhan spontan dipantulkan bolak balik diantara dua cermin dan melalui material lasing serta menumbuk elektron-elektron di tingkat energi metastabil. Transisi elektron-elektron ke *ground state* ini akan melepaskan energi dalam bentuk foton dengan fase, panjang gelombang, dan arah yang sama dengan foton penumbuk sehingga terbentuklah sinar laser.

Pada LIBS, laser yang paling banyak digunakan adalah laser pulsa Nd:YAG (*Neodymium doped Yttrium Aluminum Garnet*). Laser ini *compact*, handal, dan mudah digunakan untuk menghasilkan plasma pada eksperimen LIBS. Mode dasar laser ini pada panjang gelombang 1064 nm dan lebar pulsa 6 – 15 ns (Anabitarte, 2012)

### 2.3.2 Interaksi Laser dengan Bahan

Ketika laser dengan energi tinggi diinteraksikan dengan suatu sampel padat maka temperatur di permukaan sampel akan meningkat, menguapkan sampel dan menyebabkan ikatan-ikatan atomnya terlepas (Gambar 2.7 (a) dan (b)).



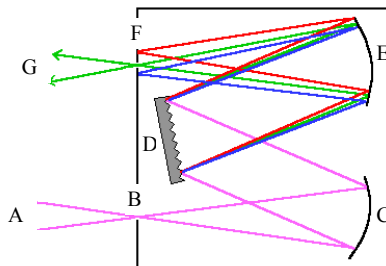
**Gambar 2.7** Skematik Proses Pembentukan Plasma (Mohaidat, 2011)

Sebagian energi laser digunakan untuk menggerakkan atom-atom dengan kecepatan yang sangat tinggi. Gerakan atom-atom ini akan melakukan kompresi adiabatik dengan gas di sekeliling sampel hingga sampai pada tekanan tertentu dan terjadi gelombang kejut (*shock wave*) yang energinya digunakan untuk mengeksitasi elektron-elektron dalam atom ke tingkat energi yang lebih tinggi.

Selama tahap awal pembentukan plasma, kerapatan elektron sangat tinggi dan menghasilkan spektrum emisi kontinu karena interaksi ion-elektron, yaitu rekombinasi dan *bremsstrahlung* (Gambar 2.7 (c)). Pada proses *bremsstrahlung* foton yang diemisikan oleh elektron dipercepat atau diperlambat oleh tumbukan. Rekombinasi terjadi ketika elektron bebas ditangkap oleh level energi atom atau ion dan melepaskan energi kinetiknya dalam bentuk foton (Cremers dan Radziemski, 2006). Dengan waktu yang sangat singkat, emisi atom maupun ion dapat diidentifikasi dalam spektrum (Gambar 2.7 (d)). Dengan cara ini, semua elemen yang ada di target diamati secara bersamaan.

### 2.3.3 Spektrometer

Plasma dideteksi oleh spektrometer dan ditampilkan dalam bentuk spektrum yang merupakan hubungan antara panjang gelombang dan intensitas. Spektrometer yang digunakan harus memiliki resolusi dan sensitifitas yang tinggi, terdiri dari monokromator dan perangkat lunak.

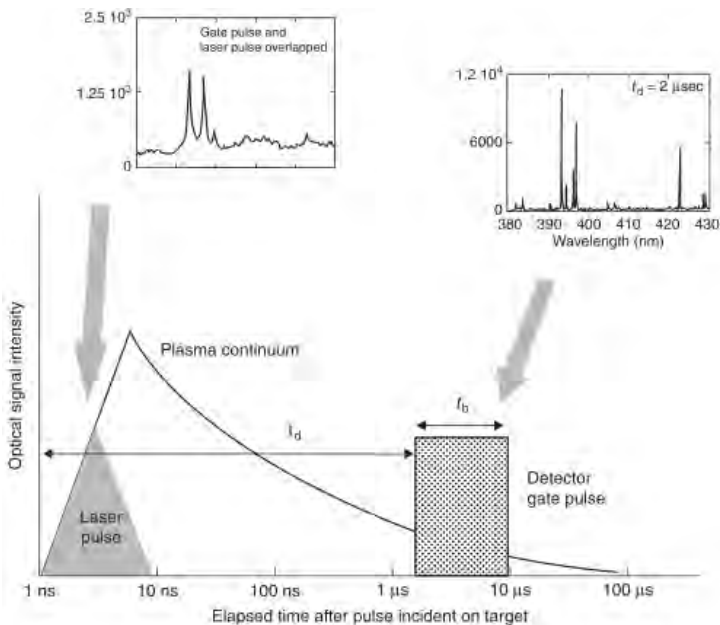


**Gambar 2.8** Skematik monokromator (Chemicool, 2014)

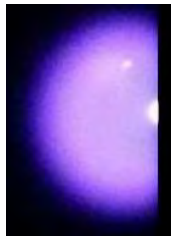
Monokromator terdiri dari beberapa komponen optik, yaitu slit / celah sempit (B dan F), dua buah cermin (C dan E), grating (D), dan detektor (G). Cahaya dari sumber (A) melewati slit dan berkas cahayanya dikumpulkan oleh cermin pertama untuk selanjutnya ditangkap oleh grating. Grating mengurai cahaya polikromatis menjadi cahaya monokromatis dan berkas cahayanya terefleksi ke segala arah. Cermin kedua memfokuskan cahaya yang sudah dipisahkan tersebut melewati slit sesuai panjang gelombang tertentu menuju ke detektor. Intensitas spektrum emisi yang dideteksi mengindikasikan konsentrasi elemen sampel. Informasi spektra ini selanjutnya dianalisis dengan perangkat lunak OOILIBS untuk mengetahui spektra sampel dan AddLIBS untuk identifikasi unsur.

## **2.4 Metode Deteksi Plasma dengan LIBS**

Hasil keluaran spektrometer untuk analisis kualitatif dan kuantitatif suatu bahan dilakukan pada kondisi optimum dengan memvariasikan beberapa parameter. Waktu tunggu deteksi (*delay time detection*) merupakan salah satu parameter penting yang perlu ditentukan. Keadaan optimum dari waktu tunggu deteksi ditentukan dari sinyal *background*, perbandingan sinyal puncak emisi terhadap sinyal *background* (S/B) dan FWHM fungsi waktu tunggu deteksi seperti terlihat pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.9** Skematik Waktu Deteksi Plasma (Cremers dan Radziemski 2013)



**Gambar 2.10** Plasma primer (daerah putih) dan plasma sekunder (daerah putih keunguan)

Gambar 2.9 menunjukkan bahwa pembentukan awal pada sekitar 10 ns, plasma yang dihasilkan memiliki kerapatan yang sangat tinggi sehingga intensitas *background* spektra yang ditangkap detektor sangat tinggi. Pada tahap ini plasma yang terbentuk adalah plasma primer yang memiliki temperatur dan

kecepatan partikel yang sangat tinggi. *Background* muncul karena ion-ion menangkap elektron dan elektron melepaskan kelebihan energi kinetiknya dalam bentuk foton dengan panjang gelombang lebar (kontinyu). Sedangkan bila dideteksi setelah 1  $\mu$ s dari setelah laser diradiasikan, maka plasma yang terbentuk adalah plasma sekunder yang merupakan pengembangan dari plasma primer. Ruang lingkup plasma primer lebih luas dan kecepatan partikel yang lebih rendah sehingga intensitas *background* dari spektra akan turun bahkan hilang (Cremers dan Radziemski 2013) dan terbentuk spektrum emisi yang tajam.

## 2.5 Rasio Intensitas

Dalam spektroskopi emisi, intensitas spektrum emisi atom dapat memberikan berbagai informasi tentang kondisi plasma. Karena analisa langsung atas hasil pengukuran intensitas dari hasil percobaan cukup sulit untuk mendapatkan perubahan yang signifikan, rasio intensitas emisi spektrum yang berbeda juga dapat digunakan untuk mendapatkan informasi tentang plasma. Beberapa penerapannya dapat dilakukan dengan membandingkan unsur-unsur yang terdeteksi pada sampel dengan unsur netral, maupun dengan unsur utama. Perbandingan terhadap unsur utama diperlukan untuk menjaga kestabilan suatu sistem serta mengetahui rasio komposisi antar unsur dalam sampel.

## 2.6 DFA (*Discriminant Function Analysis*)

DFA atau analisis fungsi diskriminan adalah salah satu teknik analisa statistika dependensi yang memiliki kegunaan untuk mengklasifikasikan objek beberapa kelompok. Pengelompokan dengan analisis diskriminan ini terjadi karena ada pengaruh satuatau lebih variabel lain yang merupakan variabel independen. Kombinasi linier dari variabel-variabel ini akan membentuk suatu fungsi diskriminan (Gardner, 2009). Analisis diskriminan mirip regresi linier berganda (*multivariable regression*). Perbedaanannya analisis diskriminan difokuskan untuk uji signifikansi dari fungsi diskriminan individu. DFA mampu memilih variabel independen secara nyata yang mempengaruhi dan tidak mempengaruhi variabel dependen.

Proses diskriminan dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

- Memisah variabel-variabel menjadi variabel dependen dan variabel independen
- Menentukan metode untuk membuat fungsi diskriminan, yaitu semua variabel dimasukkan secara bersama (*simultaneous estimation*) baru diproses diskriminan atau variabel dimasukkan satu persatu ke dalam model diskriminan (*wise estimation*).
- Menguji signifikansi dari fungsi diskriminan yang telah terbentuk dengan menggunakan Wilk's Lambda, Pilai, F test dan lainnya.
- Menguji ketepatan klasifikasi dari fungsi diskriminan.
- Melakukan interpretasi terhadap fungsi diskriminan tersebut.
- Melakukan uji validasi fungsi diskriminan.

## 2.7 NIST

*National Institute of Standards and Technology* (NIST) adalah salah satu laboratorium ilmu fisika tertua di bawah Departemen Perdagangan Amerika Serikat yang memiliki misi untuk membuat dan mendorong pengukuran, standar, dan teknologi untuk mendukung perdagangan dan memperbaiki kualitas hidup orang banyak. Kegiatan NIST disusun dalam program laboratorium yang meliputi Sains dan Teknologi *Nanoscale*, Teknik, Teknologi Informasi, *Neutron Research*, Pengukuran Material, dan Pengukuran Fisik.

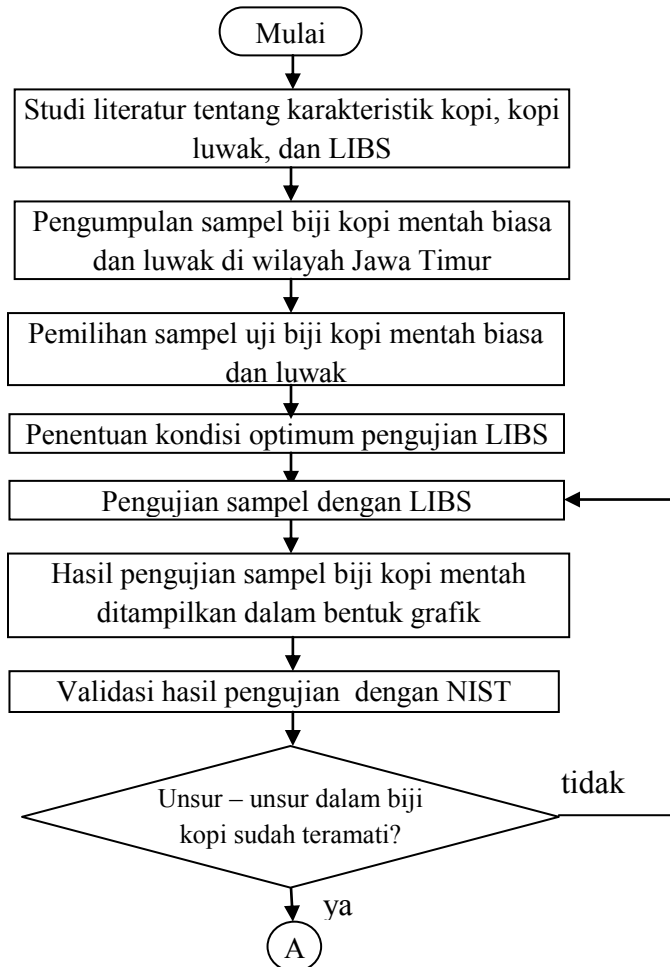
Sebagai bagian dari misinya, NIST menyediakan lebih dari 1.300 *Standard Reference Materials* (SRM) untuk industri, akademisi, pemerintah, dan pengguna lainnya. Standar ini memiliki karakteristik khusus yang telah disertifikasi dan digunakan sebagai standar kalibrasi untuk peralatan dan prosedur, tolok ukur pengendalian mutu untuk proses industri, dan sampel kontrol eksperimental mengukur ([www.nist.gov](http://www.nist.gov)).

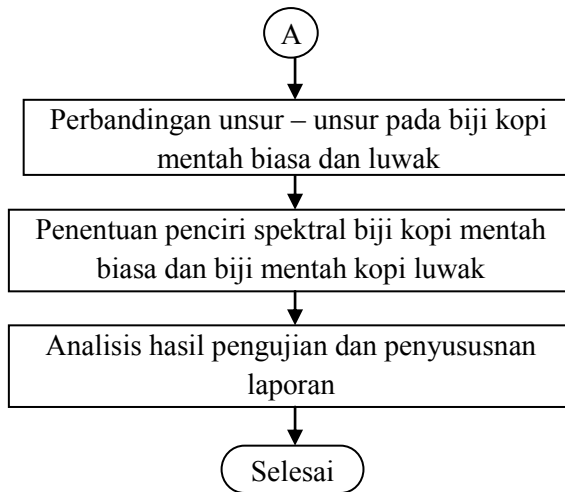
Untuk mengetahui spektrum emisi atom digunakan The Atomic Spectra Database (ASD) dari Data Center Laboratorium Pengukuran Fisika NIST. Database ini menyediakan akses untuk

tingkat energi atom, panjang gelombang, dan probabilitas transisi yang cukup *up-to-date*.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini akan dibahas mengenai uraian tahapan yang dilakukan dari awal hingga akhir untuk tercapainya tujuan tugas akhir sesuai diagram alir berikut.





**Gambar 3.1** Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

Adapun tahapan–tahapan tersebut akan dibahas secara terperinci pada pembahasan berikut.

### 3.1 Studi Literatur

Studi literatur mengenai karakteristik kopi secara umum, kopi luwak, dan metode LIBS serta pengolahan data hasil eksperimen diperoleh dari berbagai sumber, diantaranya handbook, jurnal, paper, dan internet. Selain itu juga dilakukan wawancara dengan produsen kopi dari beberapa wilayah di Jawa Timur.

### 3.2 Pengumpulan Sampel Biji Kopi Mentah

Biji kopi mentah yang digunakan sebagai sampel diperoleh dari lima produsen di wilayah Jawa Timur, yaitu Pasuruan, Malang, dan Bondowoso. Adapun jenis yang digunakan yaitu jenis arabika dan robusta, dengan perincian sesuai pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Kategori Sampel Biji Kopi Mentah Biasa dan Luwak

| Kategori                     |           | Produsen      |         |      |      |      |
|------------------------------|-----------|---------------|---------|------|------|------|
|                              |           | 1             | 2       | 3    | 4    | 5    |
| Arabika                      | Biasa     | √             | √       | √    | √    |      |
|                              | Luwak     | √             | √       | √    | √    |      |
| Robusta                      | Biasa     |               |         |      | √    | √    |
|                              | Luwak     |               |         |      | √    | √    |
| Asal daerah                  | Pasuruan  |               | √       |      | √    |      |
|                              | Malang    | √             |         |      |      | √    |
|                              | Bondowoso |               |         | √    |      |      |
| Panen                        | Biasa     | 2014          | 2014    | 2015 | 2015 | 2015 |
|                              | Luwak     | 2014          | 2011    | 2015 | 2015 | 2015 |
| Estimasi kadar air           |           | 12%           | 14-16 % | 12%  | 13%  | 12%  |
| Proses pengolahan biji biasa |           | Proses kering |         |      |      |      |
| Luwak yang digunakan         |           | Luwak kandang |         |      |      |      |

### 3.3 Pemilihan Sampel Uji

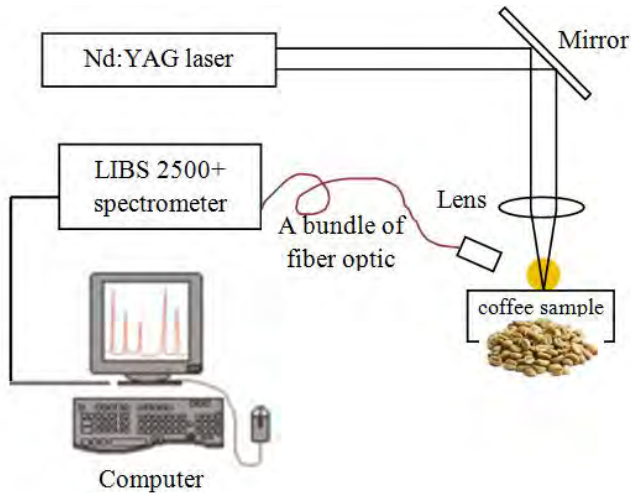
Biji kopi mentah yang digunakan sebagai sampel dipilih untuk menjaga homogenitas sampel. Biji kopi yang dipilih adalah biji yang tidak cacat, tidak ada bercak, bersih dari kotoran dan kulit ari, serta memiliki ukuran yang hampir seragam untuk setiap produsen. Selanjutnya sampel disimpan di dalam plastik dan aluminium foil untuk menghindari kontaminasi dari luar karena sifat kopi yang higroskopis dan mudah menyerap bau.

### 3.4 Pengujian Sampel

#### 3.4.1 Komponen Pengujian

Peralatan pengujian dengan LIBS terdiri dari sumber cahaya berupa laser Nd:YAG (model CRF 200 mJ, 1,064 nm, 7 ns) spektrometer Ocean Optik HR2500+, tempat sampel, dan perangkat lunak OOILIBS. Laser dengan frekuensi 5 Hz

dibelokkan oleh cermin dan difokuskan pada sampel melalui lensa cembung dengan panjang fokus 10 cm untuk menghasilkan plasma. Plasma melewati fiber optik yang memiliki tujuh tingkatan energi sesuai panjang gelombangnya. Emisi radiasi unsur dianalisis oleh detektor multikanal optik CCD 14,336 pixels pada rentang panjang gelombang 200-980 nm dan resolusi 0,1 nm (LIBS and *User Guide*, 2009). Sistem ini menghasilkan *spot size* sebesar 100  $\mu\text{m}$ . Susunan rangkaian komponen pengujian sesuai dengan Gambar 3.2.

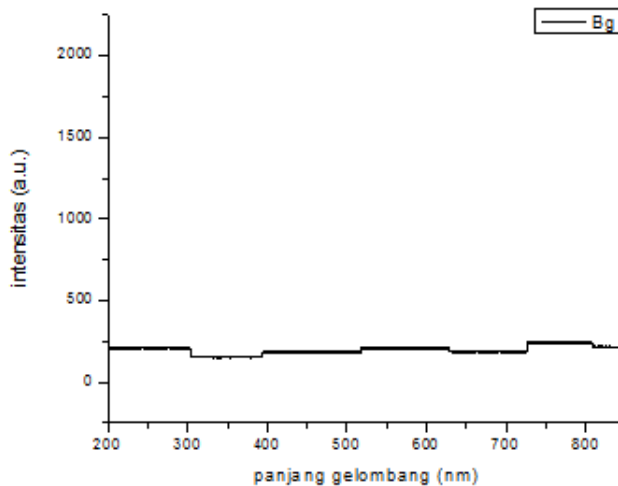


**Gambar 3.2** Sistem Pengujian dengan LIBS

### 3.4.2 Penentuan Kondisi Optimum Pengujian

#### 3.4.2.1 Set-up Alat Pengujian

Sebelum dilakukan pengujian dengan LIBS, peralatan terlebih dahulu dipanaskan kurang lebih selama 10 menit. Selanjutnya ditentukan *delay time*, energi, dan jumlah akumulasinya untuk pengambilan data awal. *Background (Bg)* diambil setiap kali menyalakan LIBS sebelum dilakukan pengujian sampel. Bg ditampilkan dalam bentuk spektrum dengan *software* OOILIBS.



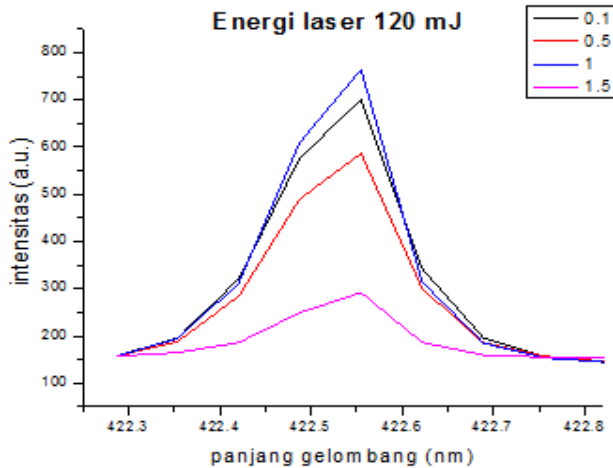
**Gambar 3.3** Background Pengujian

Pada background terdapat tujuh tingkatan energi yang berbeda. Hal ini karena terdapat tujuh detektor pada spektrometer untuk mendeteksi pada rentang panjang gelombang 200 – 980 nm.

### **3.4.2.2 Karakterisasi Kondisi Optimum Pengujian**

Karakterisasi kondisi optimum pengujian dilakukan dengan menentukan waktu tunggu deteksi (*delay time detection*), energi laser, dan lingkungan gas. Kondisi optimum menghasilkan latar belakang/*background* (Bg) rendah dan sinyal intensitas emisi tinggi. Bg rendah menunjukkan kerapatan yang rendah dan intensitas emisi tinggi menunjukkan konsentrasi elemen tinggi.

Pada pengujian sampel biji kopi ini kondisi optimum ditentukan dengan memvariasikan energi 80 mJ, 100 mJ, dan 120 mJ, serta *delay time* 0.1  $\mu$ s, 0.5  $\mu$ s, 1  $\mu$ s, dan 1.5  $\mu$ s.



**Gambar 3.4** Spektra Sampel Biji Kopi Arabika dengan Berbagai *Delay Time Detection* pada Energi Laser 120 mJ

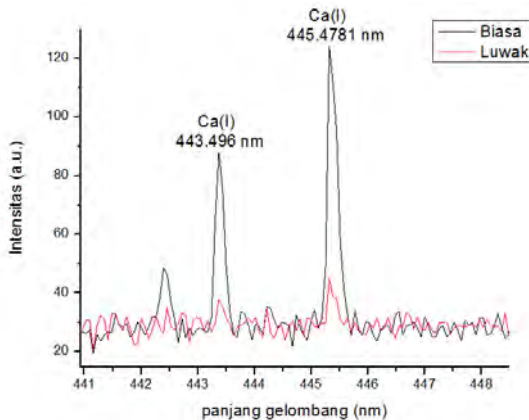
Ca(I) (kalsium) sebagai unsur utama yang terdeteksi dijadikan acuan untuk menentukan kondisi optimum sesuai dengan intensitas maksimum dan FWHM (*Full Width at Half Maximum*) terkecil. Kondisi yang sesuai untuk pengujian sampel kopi didapatkan pada energi 120 mJ, *delay time* 1  $\mu$ s pada FWHM 0.18, akumulasi 3, dan kondisi lingkungan gas 1 atmosfer.

### 3.4.3 Pengambilan Data

Sampel biji kopi dipilih secara acak dan diletakkan pada tempat sampel pada alat penguji. Tempat sampel harus dipastikan tertutup rapat untuk menghindari cahaya dari luar yang mungkin akan berpengaruh pada hasil pengujian.

Setiap sampel diambil beberapa variasi posisi dan setiap posisi dilakukan 4 kali pengambilan data untuk mengetahui *depth profile* (pada tugas akhir ini tidak dilakukan analisis *depth profile*). Data hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan antara intensitas dan panjang gelombang oleh perangkat lunak OOILIBS. Puncak pada panjang gelombang

tertentu menunjukkan adanya unsur pada panjang gelombang tersebut.



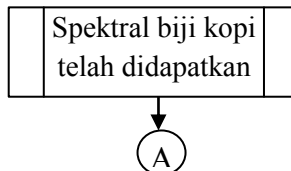
**Gambar 3.5** Unsur Ca(I) pada Panjang Gelombang 443.496 nm dan 445.4781 nm

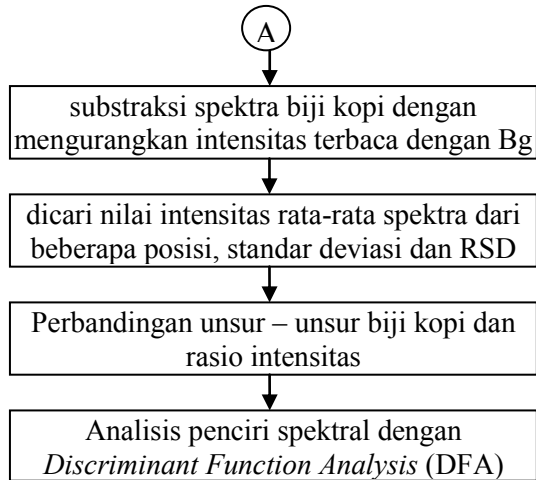
### 3.4.4 Validasi dengan NIST

Untuk mengetahui unsur – unsur yang terkandung di dalam sampel biji kopi maka digunakan *software* AddLIBS. Validasi dilakukan dengan tabel dari NIST. Jika terdapat lebih dari satu unsur pada panjang gelombang yang sama, maka unsur yang ada ditentukan berdasarkan nilai *log arc* lebih besar. Nilai *log arc* besar mengindikasikan kemungkinan elektron untuk berpindah dari kulit luar ke kulit dalam dan mengemisikan foton.

### 3.5 Pengolahan Data Hasil Pengujian

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel 2007 dan OriginPro 8.5, dengan urutan sebagai berikut.

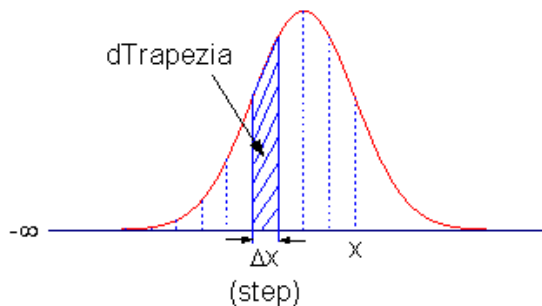




**Gambar 3.6** Tahapan Pengolahan Data

Intensitas sampel dicari nilai rata – rata, standar deviasi dan relatif standar deviasinya. Selanjutnya dicari luas area di bawah kurva intensitas emisi dengan menggunakan aturan trapezoidal yang terdapat pada perangkat lunak OriginPro 8.5 sesuai dengan persamaan (3.1).

$$y = y_o + \int_{-\infty}^x \frac{A}{w \sqrt{\frac{\pi}{2}}} e^{-\frac{(x-x_c)^2}{w^2}} \quad (3.1)$$



**Gambar 3.7** Metode Integral untuk Menentukan Luas Area

Unsur yang muncul maupun hilang pada panjang gelombang tertentu antara sampel biji kopi mentah biasa dan

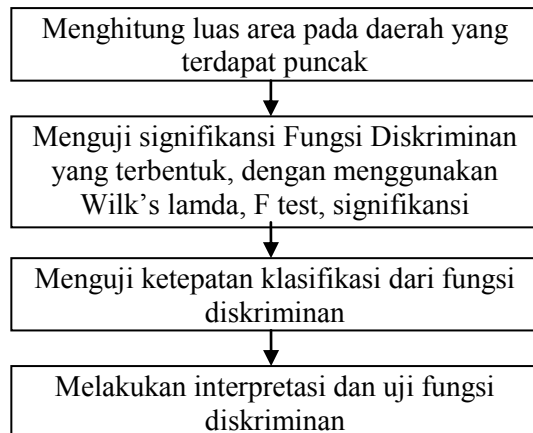
luwak dapat digunakan sebagai penciri spektral. Namun, jika tidak terdapat perbedaan spektra, perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut dengan metode lain.

### 3.5.1 Rasio Intensitas

Metode rasio intensitas dilakukan dengan membandingkan unsur – unsur yang terdapat pada sampel terhadap unsur utama (*host element*).

### 3.5.2 *Discriminat Function Analysis (DFA)*

Prinsip diskriminan diterapkan untuk membuat model yang dapat secara jelas menunjukkan perbedaan (diskriminasi) antar variabel independen, dalam hal ini adalah unsur-unsur pada biji kopi mentah. Dalam melakukan perhitungan analisis diskriminan dilakukan dengan beberapa tahapan, seperti ditunjukkan pada diagram alir berikut.



**Gambar 3.8** Tahapan Perhitungan DFA

## 3.6 Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Tahap akhir dari penelitian ini adalah penyusunan laporan tugas akhir. Laporan akhir merupakan rekaman dan bentuk pertanggungjawaban dalam bentuk tertulis dari serangkaian kegiatan yang dilakukan selama proses penelitian berlangsung.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

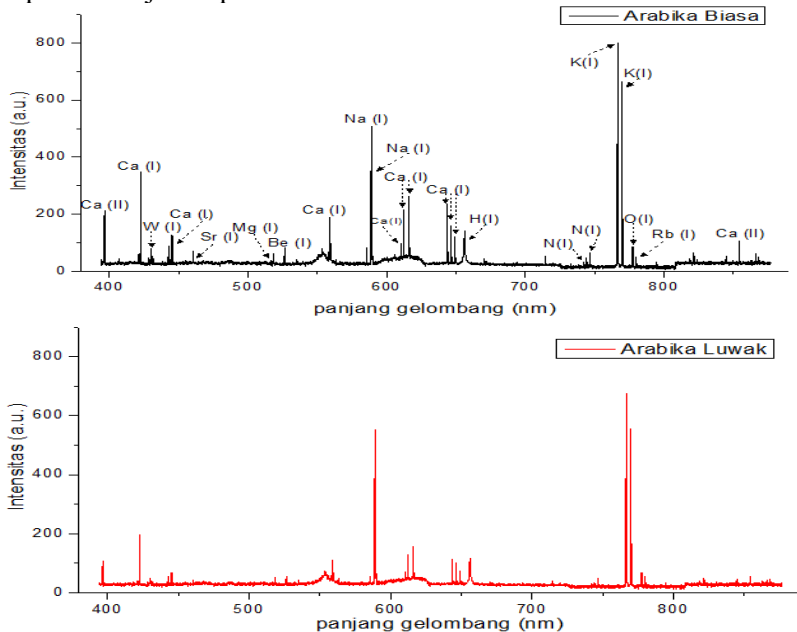
## BAB IV

### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

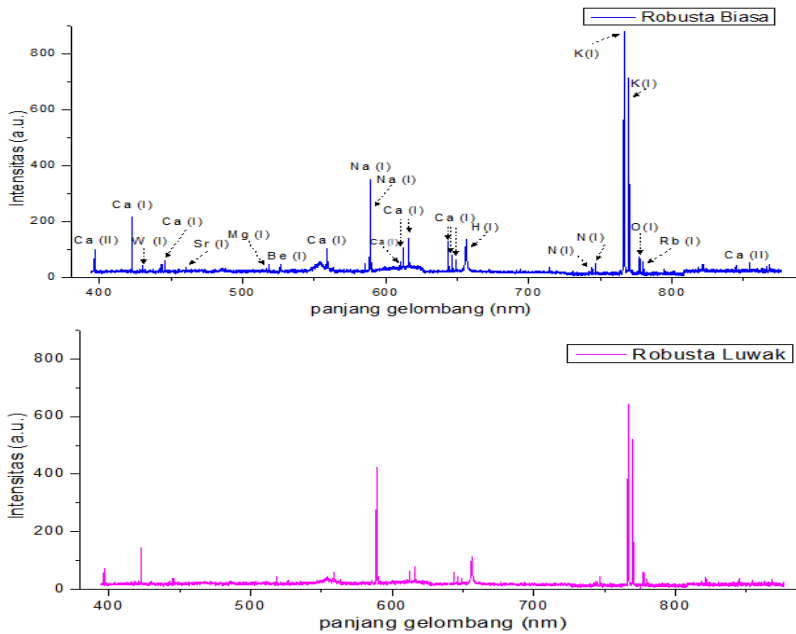
Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil karakterisasi penciri spektral biji kopi mentah biasa dan biji kopi mentah luwak dilakukan dengan *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS). Spektra berupa grafik hubungan antara panjang gelombang dan intensitas emisi unsur yang terkandung pada sampel kopi. Panjang gelombang menyatakan jenis unsurnya dan intensitas menyatakan konsentrasi unsur yang terkandung dalam kopi.

#### 4.1 Spektra Sampel Biji Kopi Mentah

Spektra hasil pengujian dengan *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS) untuk mendeteksi sejumlah unsur dan kadarnya yang terkandung di dalam biji kopi mentah biasa dan biji kopi mentah luwak baik jenis Arabika maupun Robusta seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan 4.2.



**Gambar 4.1** Spektra Biji Kopi Mentah Arabika Biasa (atas) dan Luwak (bawah)



**Gambar 4.2** Spektra Biji Kopi Mentah Robusta Biasa (atas) dan Luwak (bawah)

Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 menunjukkan hampir tidak adanya unsur makro tambahan pada biji kopi mentah akibat proses pencernaan oleh luwak. Perbedaan hanya ditunjukkan oleh perbedaan intensitas emisi. Rata-rata intensitas emisi foton pada kopi luwak cenderung lebih rendah yang dapat digunakan sebagai indikasi komposisi atau kadar unsur tersebut lebih rendah.

Berdasarkan Gambar 4.1 dan 4.2, terdapat beberapa unsur yang terkandung dalam kopi diantaranya Ca (kalsium), W (tungsten), Sr (stronsium), Be (berilium), Mg (magnesium), Na (natrium), H(hidrogen), N (nitrogen), K (kalium), O (oksigen), dan Rb (rubidium) yang kemudian dirangkum dalam Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Unsur-Unsur Utama Terkandung Dalam Biji Kopi

| Unsur | Panjang gelombang (nm) | Unsur | Panjang gelombang (nm) |
|-------|------------------------|-------|------------------------|
| Ca    | 396.8467               | W     | 430.2110               |
|       | 422.6727               | Sr    | 460.7330               |
|       | 443.496                | Mg    | 518.3604               |
|       | 445.4781               | Be    | 527.0811               |
|       | 558.8757               | Na    | 588.9950               |
|       | 612.2219               |       | 589.5924               |
|       | 616.2172               | H     | 656.2725               |
|       | 643.8470               | N     | 744.2290               |
|       | 646.2566               |       | 746.8310               |
|       | 649.3780               | K     | 766.4899               |
|       | 854.2089               |       | 769.8964               |
|       | 866.2140               | O     | 777.1940               |
| Rb    | 780.027                |       | 777.4170               |
|       |                        |       | 777.5390               |

Tabel 4.1 menunjukkan sejumlah unsur utama yang dikandung dalam biji kopi mentah biasa dan luwak baik kopi Arabika maupun Robusta dengan berbagai panjang gelombang. Panjang gelombang ini sesuai dengan level-level energi pada masing-masing unsur baik unsur atau atom netral maupun ion. Unsur-unsur ini di dalam biji kopi berikatan satu sama lain dan membentuk senyawa tertentu yang mencirikan bahan kopi itu sendiri.

Biji kopi termasuk bahan organik sehingga didominasi oleh unsur – unsur C, H, N, dan O (Rai, 2014). Kandungan senyawa kopi sangat kompleks, termasuk di dalamnya kafein, asam, protein, lipid, karbohidrat, dan mineral. Kandungan senyawa yang dapat dijadikan penanda (*marker*) antara kopi biasa dan luwak adalah asam sitrat ( $C_6H_8O_7$ ), asam malat ( $C_4H_6O_5$ ), serta perbandingan inositol dan piroglutamat. Penanda tersebut memiliki kadar kandungan yang lebih tinggi pada kopi luwak

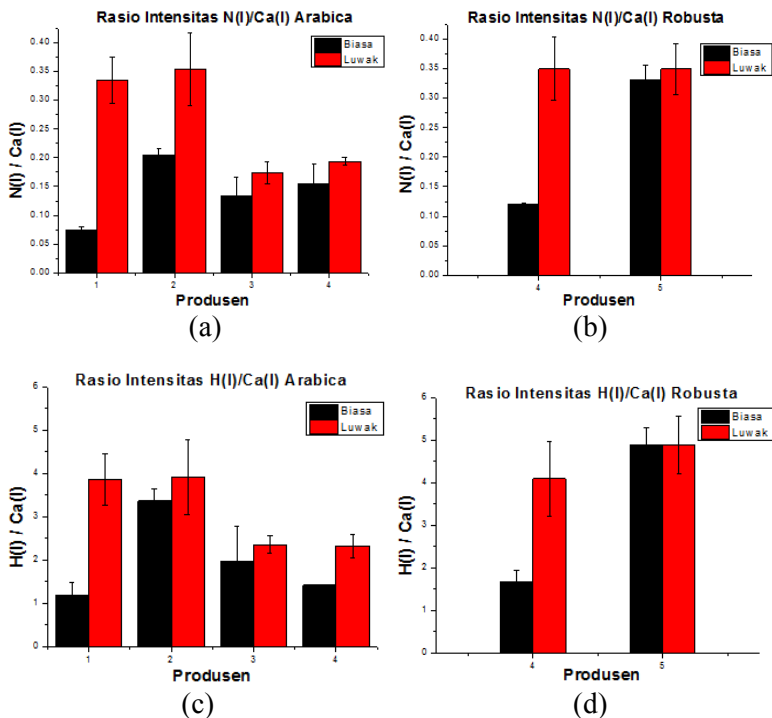
(Putri, dkk 2013). Sementara kafein ( $C_8H_{10}N_4O_2$ ) justru memiliki kadar lebih rendah pada kopi luwak dibandingkan kopi biasa (Permentan No 13/2015). Oleh karena itu, unsur C, H, N, dan O menjadi unsur penting yang dapat digunakan sebagai penciri biji kopi mentah biasa dan luwak. Analisis lebih lanjut akan dilakukan terhadap unsur N, H, dan O. Sedangkan unsur C termasuk unsur yang ringan sehingga sulit dideteksi dengan metode LIBS tanpa perlakuan khusus. Selain sifatnya ringan dan cepat bergerak, unsur C juga mudah berikatan atau terjadi rekombinasi dengan unsur lainnya di udara, seperti N dan O membentuk molekul C—N dan C—O. Untuk itu penciri atau pembeda antara kopi mentah biasa dengan luwak melalui perbandingan kadar ternormalisasi dari unsur-unsur N, H dan O saja. Selain itu Penciri juga dilakukan melalui pengolahan statistic *Discriminant Function Analysis* (DFA), yang semuanya dibahas pada sub-bab berikut.

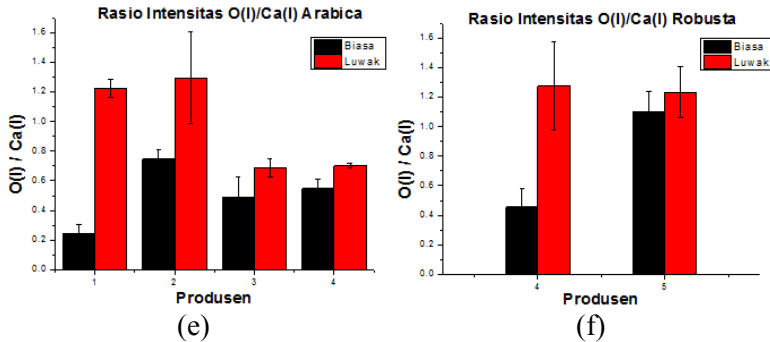
#### **4.2 Perbandingan Unsur Dengan Metode Rasio Intensitas Ternormalisasi**

Untuk mencari penciri biji kopi mentah biasa dengan biji kopi mentah luwak dapat dilakukan dengan cara membandingkan intensitas ternormalisasi dari unsur-unsur utama penyusun senyawa pada biji kopi yang terdiri dari unsur-unsur N, H, dan O. Penentuan nilai intensitas atau kadar unsur yang dikandung dalam biji kopi tersebut dilakukan dengan menghitung luas area di bawah kurva pada panjang gelombang yang terdapat puncak (*peak*) intensitas emisi dan hasilnya seperti pada Lampiran A dan Lampiran B.

Berdasarkan Lampiran A dan Lampiran B, menunjukkan bahwa secara umum nilai luas area di bawah kurva intensitas biji kopi mentah luwak cenderung turun. Namun, unsur – unsur penting N, H, dan O nilai kadarnya berfluktuasi. Hal ini kemungkinan disebabkan karena unsur-unsur tersebut banyak terdapat di alam bebas dan mudah berinteraksi dengan unsur lain membentuk suatu molekul. Selain itu kopi juga merupakan bahan higroskopis yang mudah mengabsorpsi unsur-unsur tersebut dalam molekul air di udara. Oleh karena itu, saat dianalisis

dengan LIBS, nilai kadar unsur-unsur yang terkandung dalam biji kopi tersebut sangat bergantung pada kondisi kelembaban lingkungan saat pengujian. Ini berarti nilai kadar unsur-unsur tersebut merupakan penjumlahan dari unsur-unsur impuritas N, H, O dan unsur-unsur lainnya pada biji kopi. Selain itu, nilai fluktuasi juga kemungkinan dapat disebabkan karena kondisi peralatan eksperimen seperti fluktuasi energi laser ( $< 1\%$ ), kondisi fokus laser dan udara disekitar sampel. Untuk mengatasi hal ini, maka dilakukan normalisasi unsur-unsur tersebut terhadap unsur utama (*host element*) kopi yaitu unsur Kalsium (Ca) yang hasilnya seperti pada Gambar 4.3.





**Gambar 4.3** Rasio Intensitas terhadap Unsur Utama, (a) N(I)/Ca(I) Arabika, (b) N(I)/Ca(I) Robusta, (c) H(I)/Ca(I) Arabika, (d) H(I)/Ca(I) Robusta, (e) O(I)/Ca(I) Arabika, (f) O(I)/Ca(I) Robusta

Gambar 4.3 menunjukkan rasio intensitas ternormalisasi unsur-unsur N, H, dan O terhadap unsur Ca. Data menunjukkan bahwa unsur-unsur tersebut setelah dinormalisasi nilainya tidak berfluktuasi, melainkan untuk biji kopi mentah luwak mempunyai kecenderungan lebih besar dibandingkan dengan biji kopi mentah biasa seperti pada Table 4.2 dan Tabel 4.3. Perubahan nilai rasio intensitas ternormalisasi ini menunjukkan terjadi perubahan keseimbangan antar unsur penyusun senyawa pada biji kopi luwak. Kopi luwak diklaim memiliki rasa yang lebih enak dan aroma yang lebih harum. Proses enzimatik di dalam perut luwak menyebabkan protein terpecah menjadi asam-asam amino dan mengubah keseimbangan kimia. Perubahan komposisi ini mempengaruhi kadar unsur (N, H dan O) yang terkandung di dalam biji kopi.

Berdasarkan Tabel 4.2 dan Tabel 4.3, adanya peningkatan nilai rasio intensitas dari unsur N, H dan O sekitar 0.03% hingga 79,93% dari biji kopi mentah luwak terhadap biji kopi mentah biasa baik kopi jenis Arabika maupun Robusta di semua produsen. *Range* peningkatan yang terlalu lebar ini dapat dianalisis melalui kemungkinan bahwa sampel biji kopi mentah biasa bukan merupakan biji kopi mentah yang diproses oleh seekor luwak sehingga struktur atau komposisi senyawa awal

sudah berbeda. Khusus produsen 5 yang mempunyai peningkatan kurang signifikan. Hal ini dimungkinkan terjadi karena fermentasi sampel biji kopi mentah luwak kurang sempurna atau proses pengolahan biasa yang dilakukan sudah mampu memodulasi kandungan unsur biji kopi mentah biasa sehingga nilai rasio intensitasnya mendekati nilai rasio intensitas pada biji kopi luwak.

**Tabel 4.2 Rasio Intensitas Arabika**

| Unsur        | Arabika         |        |                 |        |                 |        |                 |        |
|--------------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|
|              | Produsen 1      |        | Produsen 2      |        | Produsen 3      |        | Produsen 4      |        |
|              | Biasa           | Luwak  | Biasa           | Luwak  | Biasa           | Luwak  | Biasa           | Luwak  |
| N/Ca         | 0.0748          | 0.3345 | 0.205           | 0.3538 | 0.134           | 0.1736 | 0.155           | 0.194  |
| Kenaikan (%) | <b>77.6318</b>  |        | <b>41.95041</b> |        | <b>23.10323</b> |        | <b>19.98538</b> |        |
| H /Ca        | 1.1804          | 3.8634 | 3.371           | 3.9208 | 1.963           | 2.3567 | 1.417           | 2.3203 |
| Kenaikan (%) | <b>69.44578</b> |        | <b>14.01622</b> |        | <b>16.6977</b>  |        | <b>38.95177</b> |        |
| O /Ca        | 0.246           | 1.2248 | 0.748           | 1.2963 | 0.49            | 0.6893 | 0.548           | 0.7026 |
| Kenaikan (%) | <b>79.93413</b> |        | <b>42.30153</b> |        | <b>28.98077</b> |        | <b>22.04358</b> |        |

**Tabel 4.3 Rasio Intensitas Robusta**

| Unsur        | Robusta         |        |                 |        |
|--------------|-----------------|--------|-----------------|--------|
|              | Produsen 4      |        | Produsen 5      |        |
|              | Biasa           | Luwak  | Biasa           | Luwak  |
| N/Ca         | 0.12018         | 0.3496 | 0.331           | 0.3492 |
| Kenaikan (%) | <b>65.62387</b> |        | <b>5.31424</b>  |        |
| H/Ca         | 1.66837         | 4.0922 | 4.89            | 4.891  |
| Kenaikan (%) | <b>59.23089</b> |        | <b>0.02805</b>  |        |
| O/Ca         | 0.45581         | 1.2774 | 1.099           | 1.2351 |
| Kenaikan (%) | <b>64.317</b>   |        | <b>11.06013</b> |        |

Pada Lampiran A, biji kopi selain mengandung unsur-unsur N, H, dan O juga terdapat unsur-unsur lain seperti Ca, K, Mg, Na

yang merupakan unsur-unsur mayor yang terdapat di lingkungan. Unsur-unsur ini terdapat di tanah dan lingkungan tempat pohon kopi tumbuh sehingga kandungannya berbeda untuk setiap produsen. Sementara itu, unsur-unsur lain seperti W, Sr, Be, dan Rb adalah unsur-unsur minor yang terdapat pada biji kopi. Nilai rasio intensitas untuk seluruh unsur selain N, H, dan O terhadap Ca terdapat pada Lampiran C.

Unsur Ca menjadi unsur yang dominan dan secara keseluruhan intensitas pada kopi luwak lebih rendah dibandingkan kopi biasa. Hal ini mengindikasikan proses pencernaan oleh luwak dapat mengurangi kandungan mineral Ca pada kopi.

### **4.3 Analisis Perbandingan Unsur dengan DFA (*Discriminant Function Analysis*)**

Analisis *Discriminant Function Analysis* (DFA) ini digunakan untuk mencirikan atau memilah apakah biji kopi mentah tersebut biasa atau luwak bila ditinjau dari seluruh unsur yang ada pada biji kopi. Pada penerapan DFA ini, variabel dependen adalah biji kopi mentah biasa atau luwak sedangkan variabel independennya adalah unsur-unsur dalam biji kopi hasil pengujian LIBS seperti pada Tabel 4.1. Oleh karena itu, secara objektif pemisahan atau pencirian antara biji kopi mentah biasa dan luwak ditentukan oleh semua unsur yang ada dalam kopi. Pemisahan ini ditentukan oleh nilai  $z\_score$  yang mana dalam pembahasan ini menggunakan bantuan perangkat lunak SPSS 17 dengan perumusan secara matematis terdapat pada Lampiran D dan hasilnya sebagai berikut.

#### **4.3.1. Analisis Fungsi Diskriman (DFA) Dua Faktor untuk Kopi Arabika**

Dengan memasukkan data-data luas area pada Lampiran A untuk kopi mentah arabika biasa maupun luwak yang kemudian dilakukan pengolahan SPSS diperoleh Tabel 4.4, *Test of Equality of Group Means* yang merupakan hasil ujian untuk setiap variabel bebas yang ada.

**Tabel 4.4** *Tests of Equality of Group Means (Arabika)*

| Kandungan unsur | Wilks' Lambda | F     | df1 | df2 | Sig.  |
|-----------------|---------------|-------|-----|-----|-------|
| Ca              | 0.626         | 3.586 | 1   | 6   | 0.107 |
| W               | 0.616         | 3.744 | 1   | 6   | 0.101 |
| Sr              | 0.521         | 5.508 | 1   | 6   | 0.057 |
| Mg              | 0.931         | 0.445 | 1   | 6   | 0.53  |
| Be              | 0.843         | 1.114 | 1   | 6   | 0.332 |
| Na              | 0.993         | 0.04  | 1   | 6   | 0.849 |
| H               | 0.76          | 1.899 | 1   | 6   | 0.217 |
| N               | 0.915         | 0.554 | 1   | 6   | 0.485 |
| K               | 0.82          | 1.314 | 1   | 6   | 0.295 |
| O               | 0.942         | 0.371 | 1   | 6   | 0.565 |
| Rb              | 0.869         | 0.907 | 1   | 6   | 0.378 |

Nilai pada kolom Wilk's Lambda berkisar antara 0 sampai 1, yang artinya untuk nilai yang mendekati 0 maka data tiap group cenderung berbeda dan sebaliknya jika mendekati 1 maka data tiap group cenderung sama. Berdasarkan Tabel 4.4, menunjukkan bahwa hampir semua data di atas 0,5 yang mempunyai kecenderangan sama antara data kopi mentah biasa dan luwak. Hal ini juga dibuktikan dengan nilai test F diperoleh nilai sig. > 0.05 yang artinya hampir tidak ada perbedaan antar group biji kopi mentah biasa dan luwak. Selanjutnya dicari korelasi antara variabel independen unsur-unsur tersebut dengan fungsi diskriminan yang terbentuk seperti pada Tabel 4.5. Pada Tabel 4.5 terlihat bahwa variabel atau unsur W paling erat hubungannya dengan fungsi diskriminan, diikuti unsur Sr, H dan seterusnya sesuai dengan koefisien.

**Tabel 4.5** *Canonical Discriminant Function Coefficients (Arabika)*

| Kandungan unsur | Fungsi |
|-----------------|--------|
| Ca              | -0.993 |
| W               | 5.030  |
| Sr              | 2.923  |
| Mg              | -0.380 |
| H               | 0.017  |
| (Constant)      | 0.996  |

Fungsi berdasarkan Tabel 4.5 selanjutnya dapat dibuat persamaan  $Z\_score$  sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Z\_score(luasan) &= 0.996 + (-0.993 * luasan Ca) \\
 &+ (5.030 * luasan W) + (2.923 * luasan Sr) \\
 &+ (-0.380 * luasan Mg) + (0.017 * luasan H)
 \end{aligned}$$

Dalam penerapannya sembarang sampel biji kopi mentah arabika dianalisis dengan LIBS dan nilai intensitasnya atau luas area dari unsur-unsur Ca, W, Sr, Mg, dan H dimasukkan ke dalam persamaan fungsi di atas maka akan didapatkan suatu nilai tertentu. Sampel dinyatakan dalam dua grup yang dinotasikan dengan kode 0 dan 1. Angka 0 menyatakan jenis kopi biasa dan angka 1 menyatakan jenis kopi luwak. Nilai batas keduanya ditentukan oleh *cutting score* sesuai Lampiran D.

Berdasarkan Tabel 4.6 jika diperoleh nilai **lebih besar dari nol** maka biji kopi tersebut adalah biji kopi **Arabika mentah Biasa** dan sebaliknya. Hasil yang diperoleh sesuai dengan Lampiran E.

**Tabel 4.6** *Functions at Group Centroids (Arabika)*

| Jenis Kopi | Kode | Fungsi |
|------------|------|--------|
| Biasa      | 0.00 | 2.816  |
| Luwak      | 1.00 | -2.816 |

#### 4.3.2. Analisis Fungsi Diskriman (DFA) Dua Faktor untuk Kopi Robusta

**Tabel 4.7** *Tests of Equality of Group Means (Robusta)*

| Kandungan unsur | Wilks' Lambda | F     | df1 | df2 | Sig.  |
|-----------------|---------------|-------|-----|-----|-------|
| Ca              | 0.33          | 4.053 | 1   | 2   | 0.182 |
| W               | 0.657         | 1.042 | 1   | 2   | 0.415 |
| Sr              | 0.852         | 0.348 | 1   | 2   | 0.615 |
| Mg              | 0.955         | 0.095 | 1   | 2   | 0.787 |
| Be              | 0.596         | 1.356 | 1   | 2   | 0.364 |
| Na              | 0.997         | 0.007 | 1   | 2   | 0.942 |
| H               | 0.941         | 0.125 | 1   | 2   | 0.758 |
| N               | 0.997         | 0.007 | 1   | 2   | 0.942 |
| K               | 0.704         | 0.842 | 1   | 2   | 0.456 |
| O               | 0.999         | 0.001 | 1   | 2   | 0.975 |
| Rb              | 0.664         | 1.012 | 1   | 2   | 0.42  |

**Tabel 4.8** *Canonical Discriminant Function Coefficients (Robusta)*

| Kandungan unsur | Fungsi |
|-----------------|--------|
| Ca              | 0.317  |
| W               | -0.811 |
| (Constant)      | -5.929 |

**Tabel 4.9.** *Functions at Group Centroids (Robusta)*

| Jenis Kopi | Kode | Fungsi |
|------------|------|--------|
| Biasa      | 0.00 | 1.364  |
| Luwak      | 1.00 | -1.364 |

Dengan analisis yang sama seperti pada biji kopi arabika, maka untuk biji kopi robusta unsur-unsur Ca dan W yang membedakan antara biji kopi mentah robusta biasa dengan luwak.

Berdasarkan data pada Tabel 4.8, diperoleh fungsi diskriminan dengan  $Z\_score$  sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Z\_score(luasan) &= -5.929 + (0.317 * luasan Ca) \\
 &\quad + (-0.811 * luasan W)
 \end{aligned}$$

Dalam penerapannya sembarang sampel biji kopi mentah robusta dianalisis dengan LIBS dan nilai intensitasnya atau luas area dari unsur-unsur Ca dan W dimasukkan ke dalam persamaan fungsi di atas maka akan didapatkan suatu nilai tertentu. Berdasarkan Tabel 4.9 jika diperoleh nilai **lebih besar dari nol** maka biji kopi tersebut adalah biji kopi **Robusta mentah Biasa** dan sebaliknya.

**LAMPIRAN A**  
**Luas Area di Bawah Kurva Intensitas Biji Kopi Mentah**

**Tabel A.1** Luas Area di Bawah Kurva Biji Kopi Mentah Arabika Produsen 1 dan Produsen 2

| Unsur   | Panjang Gelombang (nm) | Produsen 1              |         |                        |         | Produsen 2              |         |                         |         |
|---------|------------------------|-------------------------|---------|------------------------|---------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|
|         |                        | Biasa                   |         | Luwak                  |         | Biasa                   |         | Luwak                   |         |
|         |                        | Area (count)            | RSD (%) | Area (count)           | RSD (%) | Area (count)            | RSD (%) | Area (count)            | RSD (%) |
| Ca (II) | 396.848                | 47.484 ( $\pm 1.4$ )    | 2.96    | 10.674 ( $\pm 1.41$ )  | 13.23   | 26.441 ( $\pm 4.32$ )   | 16.34   | 15.186 ( $\pm 0.89$ )   | 5.88    |
| Ca (I)  | 422.673                | 52.057 ( $\pm 2.28$ )   | 4.38    | 12.861 ( $\pm 0.72$ )  | 5.59    | 26.631 ( $\pm 2.1$ )    | 7.88    | 15.410 ( $\pm 0.58$ )   | 3.78    |
| Ca (I)  | 443.496                | 8.650 ( $\pm 0.88$ )    | 10.16   | 1.445 ( $\pm 0.29$ )   | 20.30   | 3.323 ( $\pm 1.07$ )    | 32.11   | 1.759 ( $\pm 0.35$ )    | 19.92   |
| Ca (I)  | 445.478                | 17.768 ( $\pm 1.32$ )   | 7.42    | 2.030 ( $\pm 1.18$ )   | 58.15   | 7.963 ( $\pm 0.60$ )    | 7.59    | 2.513 ( $\pm 0.58$ )    | 22.94   |
| Ca (I)  | 558.876                | 46.009 ( $\pm 1.5$ )    | 3.26    | 4.967 ( $\pm 1.55$ )   | 31.20   | 14.986 ( $\pm 1.46$ )   | 9.75    | 4.977 ( $\pm 0.68$ )    | 13.65   |
| Ca (I)  | 612.272                | 46.009 ( $\pm 1.5$ )    | 3.26    | 6.474 ( $\pm 1.47$ )   | 22.71   | 11.520 ( $\pm 1.56$ )   | 13.59   | 4.446 ( $\pm 0.41$ )    | 9.14    |
| Ca (I)  | 616.222                | 50.050 ( $\pm 1.35$ )   | 2.70    | 3.571 ( $\pm 1.05$ )   | 29.51   | 17.939 ( $\pm 3.03$ )   | 16.92   | 3.322 ( $\pm 1.96$ )    | 59.06   |
| Ca (I)  | 643.847                | 18.448 ( $\pm 0.68$ )   | 3.71    | 2.216 ( $\pm 1.03$ )   | 46.50   | 11.134 ( $\pm 1.06$ )   | 9.54    | 2.980 ( $\pm 0.25$ )    | 8.36    |
| Ca (I)  | 646.257                | 14.856 ( $\pm 0.41$ )   | 2.78    | 2.108 ( $\pm 0.42$ )   | 20.11   | 8.545 ( $\pm 0.94$ )    | 10.98   | 2.333 ( $\pm 0.67$ )    | 28.84   |
| Ca (I)  | 649.378                | 7.251 ( $\pm 0.19$ )    | 2.57    | 0.819 ( $\pm 0.44$ )   | 53.45   | 3.976 ( $\pm 0.73$ )    | 18.35   | 0.657 ( $\pm 0.16$ )    | 24.40   |
| Ca (II) | 854.209                | 8.007 ( $\pm 0.81$ )    | 10.15   | 1.104 ( $\pm 0.51$ )   | 46.63   | 4.209 ( $\pm 0.60$ )    | 14.37   | 1.610 ( $\pm 0.37$ )    | 23.33   |
| Ca (I)  | 866.190                | 2.532 ( $\pm 0.21$ )    | 8.42    | 1.060 ( $\pm 0.39$ )   | 36.78   | 1.272 ( $\pm 0.15$ )    | 11.76   | 1.143 ( $\pm 0.19$ )    | 16.60   |
| W (I)   | 430.211                | 5.717 ( $\pm 0.21$ )    | 3.72    | 1.011 ( $\pm 0.22$ )   | 21.61   | 3.172 ( $\pm 0.59$ )    | 18.62   | 1.571 ( $\pm 0.34$ )    | 21.90   |
| Sr (I)  | 460.733                | 8.849 ( $\pm 0.45$ )    | 5.08    | 1.711 ( $\pm 0.11$ )   | 6.77    | 4.060 ( $\pm 0.42$ )    | 10.48   | 2.033 ( $\pm 0.22$ )    | 10.97   |
| Mg (I)  | 518.360                | 6.838 ( $\pm 0.46$ )    | 6.74    | 4.216 ( $\pm 1.00$ )   | 23.84   | 5.639 ( $\pm 1.00$ )    | 17.86   | 6.472 ( $\pm 1.08$ )    | 16.76   |
| Be (I)  | 526.923                | 11.821 ( $\pm 1.62$ )   | 13.69   | 2.677 ( $\pm 0.56$ )   | 20.78   | 1.776 ( $\pm 0.68$ )    | 38.47   | 1.800 ( $\pm 0.34$ )    | 18.87   |
| Na (I)  | 588.995                | 106.944 ( $\pm 8.72$ )  | 8.15    | 22.477 ( $\pm 7.28$ )  | 32.38   | 41.592 ( $\pm 5.77$ )   | 13.87   | 104.528 ( $\pm 19.97$ ) | 19.11   |
| Na (I)  | 589.592                | 70.806 ( $\pm 6.95$ )   | 9.82    | 10.999 ( $\pm 4.54$ )  | 41.26   | 23.941 ( $\pm 3.87$ )   | 16.16   | 71.364 ( $\pm 13.61$ )  | 19.08   |
| H (I)   | 656.273                | 61.448 ( $\pm 16.08$ )  | 26.17   | 49.429 ( $\pm 5.62$ )  | 11.36   | 89.430 ( $\pm 3.12$ )   | 3.49    | 60.086 ( $\pm 11.02$ )  | 18.34   |
| N (I)   | 744.229                | 2.579 ( $\pm 0.10$ )    | 3.95    | 1.791 ( $\pm 0.44$ )   | 24.58   | 3.529 ( $\pm 0.18$ )    | 5.20    | 1.571 ( $\pm 0.34$ )    | 21.90   |
| N (I)   | 746.831                | 3.890 ( $\pm 0.16$ )    | 4.14    | 4.308 ( $\pm 0.63$ )   | 14.53   | 5.458 ( $\pm 0.25$ )    | 4.54    | 5.428 ( $\pm 0.76$ )    | 14.03   |
| K (I)   | 766.490                | 326.040 ( $\pm 13.96$ ) | 4.28    | 148.604 ( $\pm 9.32$ ) | 6.27    | 327.913 ( $\pm 39.54$ ) | 12.06   | 160.154 ( $\pm 20.51$ ) | 12.81   |
| K (I)   | 769.896                | 204.555 ( $\pm 8.69$ )  | 4.25    | 95.004 ( $\pm 5.63$ )  | 5.93    | 205.548 ( $\pm 24.03$ ) | 11.69   | 71.364 ( $\pm 13.61$ )  | 19.08   |

Tabel A.1 Lanjutan

| Unsur  | Panjang Gelombang (nm) | Produsen 1            |         |                       |         | Produsen 2            |         |                       |         |
|--------|------------------------|-----------------------|---------|-----------------------|---------|-----------------------|---------|-----------------------|---------|
|        |                        | Biasa                 |         | Luwak                 |         | Biasa                 |         | Luwak                 |         |
|        |                        | Area (count)          | RSD (%) | Area (count)          | RSD (%) | Area (count)          | RSD (%) | Area (count)          | RSD (%) |
| O (I)  | 777.194                | 12.773 ( $\pm 2.94$ ) | 23.05   | 15.726 ( $\pm 0.38$ ) | 2.42    | 19.836 ( $\pm 0.01$ ) | 0.08    | 19.854 ( $\pm 4.06$ ) | 20.43   |
| Rb (I) | 780.027                | 8.100 ( $\pm 1.69$ )  | 20.88   | 3.320 ( $\pm 0.27$ )  | 8.11    | 7.860 ( $\pm 0.32$ )  | 4.03    | 1.153 ( $\pm 0.26$ )  | 22.61   |

Tabel A.2 Luas Area di Bawah Kurva Biji Kopi Mentah Arabika Produsen 3 dan Produsen 4

| Unsur   | Panjang Gelombang (nm) | Produsen 3             |         |                        |         | Produsen 4              |         |                         |         |
|---------|------------------------|------------------------|---------|------------------------|---------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|
|         |                        | Biasa                  |         | Luwak                  |         | Biasa                   |         | Luwak                   |         |
|         |                        | Area (count)           | RSD (%) | Area (count)           | RSD (%) | Area (count)            | RSD (%) | Area (count)            | RSD (%) |
| Ca (II) | 396.848                | 41.522 ( $\pm 2.77$ )  | 6.68    | 35.687 ( $\pm 0.70$ )  | 1.96    | 119.969 ( $\pm 46.15$ ) | 38.47   | 34.048 ( $\pm 7.09$ )   | 20.82   |
| Ca (I)  | 422.673                | 46.875 ( $\pm 1.81$ )  | 3.87    | 39.765 ( $\pm 3.41$ )  | 8.59    | 94.829 ( $\pm 16.06$ )  | 16.93   | 32.890 ( $\pm 4.53$ )   | 13.78   |
| Ca (I)  | 443.496                | 7.166 ( $\pm 2.99$ )   | 41.72   | 6.501 ( $\pm 1.43$ )   | 21.99   | 18.423 ( $\pm 3.51$ )   | 19.05   | 5.807 ( $\pm 2.31$ )    | 40.04   |
| Ca (I)  | 445.478                | 14.507 ( $\pm 4.41$ )  | 30.41   | 11.332 ( $\pm 3.32$ )  | 29.34   | 35.306 ( $\pm 7.13$ )   | 20.20   | 10.655 ( $\pm 3.23$ )   | 30.30   |
| Ca (I)  | 558.876                | 33.776 ( $\pm 6.80$ )  | 20.13   | 26.880 ( $\pm 8.38$ )  | 31.19   | 45.555 ( $\pm 14.04$ )  | 30.82   | 22.842 ( $\pm 8.40$ )   | 36.77   |
| Ca (I)  | 612.272                | 28.843 ( $\pm 5.95$ )  | 20.63   | 24.655 ( $\pm 7.50$ )  | 30.41   | 29.606 ( $\pm 10.58$ )  | 35.74   | 19.271 ( $\pm 6.00$ )   | 36.26   |
| Ca (I)  | 616.222                | 39.511 ( $\pm 5.10$ )  | 12.92   | 29.880 ( $\pm 9.80$ )  | 32.79   | 42.335 ( $\pm 14.37$ )  | 33.94   | 23.100 ( $\pm 9.03$ )   | 39.08   |
| Ca (I)  | 643.847                | 17.054 ( $\pm 4.41$ )  | 25.85   | 17.054 ( $\pm 3.90$ )  | 22.89   | 36.014 ( $\pm 5.64$ )   | 15.67   | 14.067 ( $\pm 3.65$ )   | 25.96   |
| Ca (I)  | 646.257                | 12.804 ( $\pm 3.29$ )  | 25.68   | 9.689 ( $\pm 3.06$ )   | 31.56   | 28.228 ( $\pm 4.83$ )   | 17.11   | 10.690 ( $\pm 3.08$ )   | 28.79   |
| Ca (I)  | 649.378                | 6.109 ( $\pm 1.35$ )   | 22.15   | 4.596 ( $\pm 1.52$ )   | 33.12   | 15.915 ( $\pm 2.55$ )   | 16.03   | 4.708 ( $\pm 1.46$ )    | 31.05   |
| Ca (II) | 854.209                | 6.583 ( $\pm 1.55$ )   | 23.62   | 5.465 ( $\pm 0.99$ )   | 18.18   | 20.778 ( $\pm 5.85$ )   | 28.16   | 4.535 ( $\pm 1.81$ )    | 39.90   |
| Ca (I)  | 866.190                | 1.937 ( $\pm 0.88$ )   | 45.73   | 1.937 ( $\pm 0.88$ )   | 45.73   | 9.863 ( $\pm 2.96$ )    | 29.98   | 2.425 ( $\pm 0.61$ )    | 25.04   |
| W (I)   | 430.211                | 5.488 ( $\pm 1.27$ )   | 23.09   | 3.707 ( $\pm 1.12$ )   | 30.35   | 12.883 ( $\pm 2.68$ )   | 20.83   | 3.777 ( $\pm 0.65$ )    | 17.30   |
| Sr (I)  | 460.733                | 7.839 ( $\pm 1.51$ )   | 19.27   | 6.402 ( $\pm 2.06$ )   | 32.26   | 12.601 ( $\pm 1.16$ )   | 9.23    | 3.871 ( $\pm 1.16$ )    | 29.38   |
| Mg (I)  | 518.360                | 7.786 ( $\pm 2.30$ )   | 29.61   | 7.901 ( $\pm 2.06$ )   | 26.05   | 18.956 ( $\pm 6.91$ )   | 36.44   | 11.464 ( $\pm 2.16$ )   | 18.87   |
| Be (I)  | 526.923                | 8.057 ( $\pm 1.88$ )   | 23.32   | 8.067 ( $\pm 2.62$ )   | 32.45   | 7.330 ( $\pm 4.89$ )    | 66.77   | 5.794 ( $\pm 2.14$ )    | 37.04   |
| Na (I)  | 588.995                | 97.366 ( $\pm 17.07$ ) | 17.53   | 89.028 ( $\pm 24.56$ ) | 27.63   | 71.416 ( $\pm 29.17$ )  | 40.85   | 122.171 ( $\pm 24.75$ ) | 20.26   |
| Na (I)  | 589.592                | 64.121 ( $\pm 13.43$ ) | 20.95   | 58.517 ( $\pm 19.21$ ) | 32.83   | 41.327 ( $\pm 18.98$ )  | 45.92   | 85.507 ( $\pm 19.28$ )  | 22.55   |

Tabel A.2 Lanjutan

| Unsur  | Panjang Gelombang (nm) | Produsen 3              |         |                         |         | Produsen 4              |         |                         |         |
|--------|------------------------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|
|        |                        | Biasa                   |         | Luwak                   |         | Biasa                   |         | Luwak                   |         |
|        |                        | Area (count)            | RSD (%) | Area (count)            | RSD (%) | Area (count)            | RSD (%) | Area (count)            | RSD (%) |
| H (I)  | 656.273                | 92.927 ( $\pm 40.86$ )  | 43.97   | 93.273 ( $\pm 1.34$ )   | 1.44    | 134.247 ( $\pm 22.16$ ) | 16.51   | 77.021 ( $\pm 17.96$ )  | 23.31   |
| N (I)  | 744.229                | 3.436 ( $\pm 1.01$ )    | 29.38   | 3.707 ( $\pm 1.12$ )    | 30.35   | 7.470 ( $\pm 1.96$ )    | 26.31   | 2.247 ( $\pm 0.27$ )    | 11.92   |
| N (I)  | 746.831                | 6.288 ( $\pm 1.67$ )    | 26.55   | 6.865 ( $\pm 0.40$ )    | 5.84    | 14.947 ( $\pm 5.24$ )   | 35.03   | 6.398 ( $\pm 1.07$ )    | 16.69   |
| K (I)  | 766.490                | 271.903 ( $\pm 53.10$ ) | 19.53   | 278.392 ( $\pm 56.70$ ) | 20.37   | 219.437 ( $\pm 46.97$ ) | 21.40   | 325.379 ( $\pm 48.74$ ) | 14.98   |
| K (I)  | 769.896                | 170.947 ( $\pm 32.01$ ) | 18.72   | 58.517 ( $\pm 19.21$ )  | 32.83   | 138.287 ( $\pm 28.68$ ) | 20.74   | 206.207 ( $\pm 29.50$ ) | 14.30   |
| O (I)  | 777.194                | 23.096 ( $\pm 7.13$ )   | 30.87   | 27.311 ( $\pm 1.85$ )   | 6.79    | 52.487 ( $\pm 13.92$ )  | 26.52   | 23.156 ( $\pm 3.68$ )   | 15.88   |
| Rb (I) | 780.027                | 5.000 ( $\pm 1.35$ )    | 27.02   | 3.032 ( $\pm 0.86$ )    | 28.35   | 2.731 ( $\pm 0.41$ )    | 15.16   | 8.479 ( $\pm 1.75$ )    | 20.71   |

Tabel A.3 Luas Area di Bawah Kurva Biji Kopi Mentah Robusta

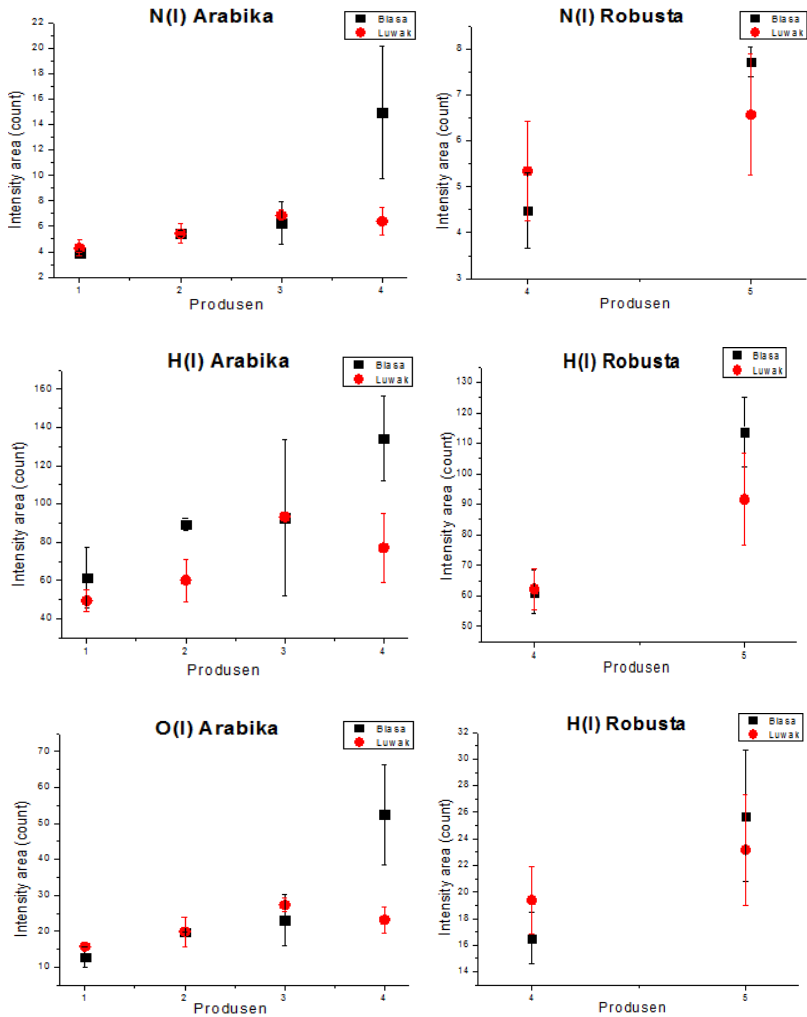
| Unsur   | Panjang Gelombang (nm) | Produsen 4            |         |                       |         | Produsen 5            |         |                       |         |
|---------|------------------------|-----------------------|---------|-----------------------|---------|-----------------------|---------|-----------------------|---------|
|         |                        | Biasa                 |         | Luwak                 |         | Biasa                 |         | Luwak                 |         |
|         |                        | Area (count)          | RSD (%) | Area (count)          | RSD (%) | Area (count)          | RSD (%) | Area (count)          | RSD (%) |
| Ca (II) | 396.848                | 27.449 ( $\pm 3.81$ ) | 13.87   | 14.706 ( $\pm 1.58$ ) | 10.75   | 17.133 ( $\pm 1.98$ ) | 11.57   | 16.228 ( $\pm 0.40$ ) | 2.46    |
| Ca (I)  | 422.673                | 37.310 ( $\pm 6.80$ ) | 18.22   | 15.488 ( $\pm 2.14$ ) | 13.84   | 24.155 ( $\pm 0.40$ ) | 1.67    | 18.711 ( $\pm 1.37$ ) | 7.32    |
| Ca (I)  | 443.496                | 8.967 ( $\pm 1.75$ )  | 19.57   | 1.394 ( $\pm 0.73$ )  | 52.33   | 5.507 ( $\pm 1.92$ )  | 34.89   | 1.874 ( $\pm 0.37$ )  | 19.57   |
| Ca (I)  | 445.478                | 13.203 ( $\pm 3.71$ ) | 28.12   | 3.096 ( $\pm 0.79$ )  | 25.60   | 6.774 ( $\pm 4.04$ )  | 59.65   | 3.038 ( $\pm 0.58$ )  | 19.02   |
| Ca (I)  | 558.876                | 23.920 ( $\pm 9.54$ ) | 39.90   | 7.707 ( $\pm 1.63$ )  | 21.22   | 7.661 ( $\pm 2.52$ )  | 32.84   | 7.817 ( $\pm 0.33$ )  | 4.21    |
| Ca (I)  | 612.272                | 23.920 ( $\pm 9.54$ ) | 6.77    | 8.560 ( $\pm 1.88$ )  | 1.88    | 9.974 ( $\pm 3.54$ )  | 35.47   | 7.470 ( $\pm 0.35$ )  | 4.66    |
| Ca (I)  | 616.222                | 18.513 ( $\pm 6.77$ ) | 36.59   | 6.621 ( $\pm 2.93$ )  | 44.25   | 17.039 ( $\pm 3.62$ ) | 21.26   | 7.498 ( $\pm 0.55$ )  | 7.40    |
| Ca (I)  | 643.847                | 14.728 ( $\pm 2.60$ ) | 17.69   | 4.129 ( $\pm 0.87$ )  | 21.12   | 8.522 ( $\pm 4.64$ )  | 54.50   | 3.393 ( $\pm 0.86$ )  | 25.24   |
| Ca (I)  | 646.257                | 12.573 ( $\pm 1.69$ ) | 13.45   | 2.896 ( $\pm 0.30$ )  | 10.33   | 7.281 ( $\pm 3.69$ )  | 50.73   | 2.808 ( $\pm 0.73$ )  | 25.92   |
| Ca (I)  | 649.378                | 12.573 ( $\pm 1.04$ ) | 8.31    | 1.433 ( $\pm 0.60$ )  | 42.14   | 3.414 ( $\pm 1.65$ )  | 48.45   | 1.030 ( $\pm 0.16$ )  | 15.79   |
| Ca (II) | 854.209                | 5.849 ( $\pm 0.67$ )  | 11.44   | 1.364 ( $\pm 0.17$ )  | 12.87   | 5.585 ( $\pm 2.24$ )  | 40.06   | 0.818 ( $\pm 0.79$ )  | 64.06   |
| Ca (I)  | 866.190                | 2.797 ( $\pm 0.60$ )  | 21.46   | 0.890 ( $\pm 0.42$ )  | 47.60   | 1.820 ( $\pm 0.59$ )  | 32.43   | 1.817 ( $\pm 0.38$ )  | 20.85   |

Tabel A.3 Lanjutan

| Unsur  | Panjang Gelombang (nm) | Produsen 4              |         |                         |         | Produsen 5              |         |                         |         |
|--------|------------------------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|
|        |                        | Biasa                   |         | Luwak                   |         | Biasa                   |         | Luwak                   |         |
|        |                        | Area (count)            | RSD (%) | Area (count)            | RSD (%) | Area (count)            | RSD (%) | Area (count)            | RSD (%) |
| W (I)  | 430.211                | 4.920 ( $\pm 1.47$ )    | 29.90   | 1.457 ( $\pm 0.66$ )    | 45.62   | 1.143 ( $\pm 0.13$ )    | 11.46   | 0.668 ( $\pm 0.27$ )    | 39.99   |
| Sr (I) | 460.733                | 5.357 ( $\pm 0.57$ )    | 10.63   | 2.153 ( $\pm 0.63$ )    | 29.19   | 1.571 ( $\pm 0.76$ )    | 48.15   | 2.531 ( $\pm 0.55$ )    | 21.83   |
| Mg (I) | 518.360                | 13.396 ( $\pm 1.45$ )   | 10.83   | 7.125 ( $\pm 1.24$ )    | 17.46   | 5.107 ( $\pm 0.48$ )    | 9.42    | 8.777 ( $\pm 0.53$ )    | 65.01   |
| Be (I) | 526.923                | 6.172 ( $\pm 2.72$ )    | 44.12   | 2.645 ( $\pm 1.11$ )    | 42.18   | 2.907 ( $\pm 0.89$ )    | 30.77   | 2.631 ( $\pm 0.25$ )    | 9.50    |
| Na (I) | 588.995                | 98.461 ( $\pm 24.42$ )  | 24.81   | 45.336 ( $\pm 12.67$ )  | 27.96   | 40.404 ( $\pm 33.23$ )  | 82.24   | 99.545 ( $\pm 15.00$ )  | 15.07   |
| Na (I) | 589.592                | 64.787 ( $\pm 17.28$ )  | 26.67   | 26.618 ( $\pm 9.18$ )   | 34.48   | 24.272 ( $\pm 23.15$ )  | 95.39   | 69.892 ( $\pm 13.26$ )  | 18.98   |
| H (I)  | 656.273                | 61.343 ( $\pm 7.16$ )   | 11.68   | 62.206 ( $\pm 6.82$ )   | 10.97   | 113.703 ( $\pm 11.55$ ) | 10.16   | 91.630 ( $\pm 15.07$ )  | 16.44   |
| N (I)  | 744.229                | 1.734 ( $\pm 0.40$ )    | 22.85   | 2.193 ( $\pm 0.52$ )    | 23.51   | 2.538 ( $\pm 0.58$ )    | 22.69   | 2.413 ( $\pm 0.63$ )    | 25.95   |
| N (I)  | 746.831                | 4.485 ( $\pm 0.83$ )    | 18.46   | 5.342 ( $\pm 0.33$ )    | 6.10    | 7.714 ( $\pm 1.08$ )    | 13.95   | 6.572 ( $\pm 1.32$ )    | 20.10   |
| K (I)  | 766.490                | 453.225 ( $\pm 27.82$ ) | 6.14    | 176.047 ( $\pm 19.24$ ) | 10.93   | 251.411 ( $\pm 20.71$ ) | 8.24    | 307.553 ( $\pm 31.03$ ) | 10.09   |
| K (I)  | 769.896                | 285.585 ( $\pm 23.67$ ) | 4.78    | 114.099 ( $\pm 10.60$ ) | 9.29    | 162.085 ( $\pm 10.68$ ) | 6.59    | 193.527 ( $\pm 17.29$ ) | 8.93    |
| O (I)  | 777.194                | 16.502 ( $\pm 1.94$ )   | 11.76   | 19.386 ( $\pm 2.51$ )   | 12.96   | 25.703 ( $\pm 4.94$ )   | 19.21   | 23.165 ( $\pm 4.15$ )   | 17.90   |
| Rb (I) | 780.027                | 9.960 ( $\pm 0.69$ )    | 6.93    | 3.601 ( $\pm 0.95$ )    | 26.29   | 3.256 ( $\pm 0.70$ )    | 21.60   | 2.827 ( $\pm 1.04$ )    | 36.85   |

## LAMPIRAN B

### Nilai Luas Area Unsur N, H, dan O





## LAMPIRAN C

### Rasio Intensitas Ternormalisasi untuk Semua Unsur

**Tabel C.1** Rasio Intensitas Ternormalisasi Biji Kopi Arabika  
Produsen 1 dan Produsen 2

| Unsur         | Produsen 1 |          | Produsen 2 |          |
|---------------|------------|----------|------------|----------|
|               | Biasa      | Luwak    | Biasa      | Luwak    |
| Ca(II)/Ca(I)  | 0.912145   | 0.82998  | 0.992851   | 0.985465 |
| W(I) / Ca(I)  | 0.109813   | 0.078573 | 0.1191     | 0.101953 |
| Sr(I) / Ca(I) | 0.169991   | 0.133039 | 0.152455   | 0.131959 |
| Mg(I) / Ca(I) | 0.131355   | 0.327843 | 0.211734   | 0.419981 |
| Be(I) / Ca(I) | 0.22707    | 0.208163 | 0.066692   | 0.116818 |
| Na(I) / Ca(I) | 2.054361   | 1.747731 | 1.561801   | 6.783209 |
| K(I) / Ca(I)  | 6.263091   | 11.55482 | 12.31319   | 10.39299 |
| Rb(I) / Ca(I) | 0.155589   | 0.258182 | 0.295139   | 0.074842 |

**Tabel C.2** Rasio Intensitas Ternormalisasi Biji Kopi Arabika  
Produsen 3 dan Produsen 4

| Unsur         | Produsen 3 |          | Produsen 4 |          |
|---------------|------------|----------|------------|----------|
|               | Biasa      | Luwak    | Biasa      | Luwak    |
| Ca(II)/Ca(I)  | 0.885791   | 0.897461 | 1.265103   | 1.035216 |
| W(I) / Ca(I)  | 0.117074   | 0.093212 | 0.135851   | 0.114826 |
| Sr(I) / Ca(I) | 0.16724    | 0.160994 | 0.132877   | 0.117684 |
| Mg(I) / Ca(I) | 0.166099   | 0.198695 | 0.199892   | 0.348551 |
| Be(I) / Ca(I) | 0.171886   | 0.20288  | 0.077293   | 0.176152 |
| Na(I) / Ca(I) | 2.07712    | 2.238875 | 0.753097   | 3.714535 |
| K(I) / Ca(I)  | 5.800558   | 7.000983 | 2.314033   | 9.89298  |
| Rb(I) / Ca(I) | 0.106677   | 0.07626  | 0.028795   | 0.25779  |

**Tabel C.3** Rasio Intensitas Ternormalisasi Biji Kopi Robusta

| Unsur         | Produsen 4 |          | Produsen 5 |          |
|---------------|------------|----------|------------|----------|
|               | Biasa      | Luwak    | Biasa      | Luwak    |
| Ca(II) /Ca(I) | 0.735696   | 0.949534 | 0.709277   | 0.867302 |
| W(I) / Ca(I)  | 0.131866   | 0.094056 | 0.047335   | 0.035678 |
| Sr(I) / Ca(I) | 0.143579   | 0.138996 | 0.06502    | 0.135288 |
| Mg(I) / Ca(I) | 0.359038   | 0.460064 | 0.211423   | 0.469095 |
| Be(I) / Ca(I) | 0.165415   | 0.170807 | 0.120348   | 0.140629 |
| Na(I) / Ca(I) | 2.638998   | 2.927157 | 1.672663   | 5.320125 |
| K(I) / Ca(I)  | 12.14754   | 11.36666 | 10.40813   | 16.43707 |
| Rb(I) / Ca(I) | 0.266958   | 0.232517 | 0.134799   | 0.151088 |

## LAMPIRAN D

### Rumus *Discriminant Function Analysis* (DFA)

#### **Persamaan dasar untuk *Discriminant Function Analysis* (DFA)**

Model analisis diskriminan adalah sebuah persamaan yang menunjukkan suatu kombinasi linier dari berbagai variabel independen. Persamaan determinan dibentuk setara dengan matrik dari Jumlah kuadrat antar grup (SSB) dibagi dengan jumlah kuadrat dalam grup (SSW). Persamaan ini memberikan nilai *eigenvalue* yang menjelaskan jumlah terbesar variasi relatif. *Eigenvalue* besar menunjukkan fungsi yang semakin baik. Nilai *eigenvalue* ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\lambda = \frac{SSB_L}{SSW_L} \quad (D.1)$$

Variabel tunggal, Wilks' lamda ( $\Lambda$ ) adalah rasio antara jumlah kuadrat dalam grup ( $SS_W$ ) dan jumlah kuadrat total ( $SS_T$ ), sesuai dengan persamaan berikut :

$$\Lambda = \frac{SS_W}{SS_T} \quad (D.2)$$

Nilainya berkisar antara 0 sampai 1. Nilai 1 berarti data cenderung sama dan 0 data cenderung beda. Sementara itu, nilai F (*F-ratio*) ditentukan dengan formula berikut :

$$F = \frac{v_2(1-\Lambda)}{v_1\Lambda} \quad (D.3)$$

pada  $v_1 = (a-1)$  dan  $v_2 = (N-a)$  derajat kebebasan.

Korelasi canonical (*canonical correlation*) adalah ukuran relasi fungsi diskriminan pada anggota (data) grup, yang diformulasikan dengan :

$$R_{cc} = \sqrt{\frac{\lambda}{1+\lambda}} \quad (D.4)$$

Pada hasil pengujian SPSS yang telah dilakukan nilai *eigenvalue*-nya sebagai berikut :

**Arabika**

| Function | Eigenvalue          | % of Variance | Cumulative % | Canonical Correlation |
|----------|---------------------|---------------|--------------|-----------------------|
| 1        | 10.573 <sup>a</sup> | 100.0         | 100.0        | 0.956                 |

**Robusta**

| Function | Eigenvalue         | % of Variance | Cumulative % | Canonical Correlation |
|----------|--------------------|---------------|--------------|-----------------------|
| 1        | 3.723 <sup>a</sup> | 100.0         | 100.0        | 0.888                 |

Tes signifikansi fungsi diskriminan adalah tes berurutan yang menggunakan statistik *chi-square*.

$$\Lambda = \Pi\left(\frac{1}{1+\lambda}\right) \quad (D.5)$$

Nilai F dan signifikansi  $> 0.05$  berarti data grup cenderung tidak sama, dan sebaliknya.

Langkah selanjutnya adalah menghitung dan memplot *centroid* untuk mencari skor diskriminannya, yaitu dengan cara mengalikan koefisien yang tidak distandarasi dengan nilai-nilai variabel.

$$D = b_0 + b_1X + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_kX_k \quad (D.6)$$

dengan

D = Skor Diskriminan (Z\_score)

$b_0 = \text{constant}$

b = Koefisien diskriminasi atau bobot

X= Predictor atau Variabel Independen (Luas area di bawah kurva intensitas)

Nilai batas antar grup ditentukan dari *cutting score*, yaitu nilai rata-rata centroid yang dapat dijadikan patokan dalam mengelompokkan objek. *Cutting Score* diformulasikan sebagai berikut :

$$Z_{ce} = \frac{Z_A + Z_B}{2} \quad (D.7)$$

dengan

$Z_{ce}$  = *cutting score* untuk grup yang sama ukuran

$Z_A$  = *Centroid* grup A

$Z_B$  = *Centroid* grup B

pada sampel biji kopi mentah maka diperoleh nilai *cutting*

*score* :

$$Z_{ce} = \frac{2.816 + (-2.816)}{2} = 0 \text{ untuk jenis arabika, dan}$$

$$Z_{ce} = \frac{1.364 + (-1.364)}{2} = 0 \text{ untuk jenis robusta}$$



## LAMPIRAN E

### Total Nilai $Z\_score$ untuk Masing-Masing Produsen

**Tabel E.1** Nilai  $Z\_score$  Biji Kopi Mentah Arabika Produsen 1 dan Produsen 2

| Variabel       | Produsen 1  |               | Produsen 2  |               |
|----------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
|                | Biasa       | Luwak         | Biasa       | Luwak         |
| Constant       | 0.996       | 0.996         | 0.996       | 0.996         |
| Ca             | -51.693     | -12.771       | -26.445     | -15.302       |
| W              | 28.754      | 5.083         | 15.954      | 7.902         |
| Sr             | 25.866      | 5.001         | 11.867      | 5.944         |
| Mg             | -2.598      | -1.602        | -2.143      | -2.459        |
| H              | 1.045       | 0.84          | 1.52        | 1.021         |
| <b>Z_score</b> | <b>2.37</b> | <b>-2.452</b> | <b>1.75</b> | <b>-1.897</b> |

**Tabel E.2** Nilai  $Z\_score$  Biji Kopi Mentah Arabika Produsen 3 dan Produsen 4

| Variabel       | Produsen 3   |               | Produsen 4   |             |
|----------------|--------------|---------------|--------------|-------------|
|                | Biasa        | Luwak         | Biasa        | Luwak       |
| Constant       | 0.996        | 0.996         | 0.996        | 0.996       |
| Ca             | -46.547      | -39.486       | -94.165      | -32.660     |
| W              | 27.604       | 18.644        | 64.799       | 18.996      |
| Sr             | 22.914       | 18.713        | 36.831       | 11.314      |
| Mg             | -2.959       | -3.002        | -7.203       | -4.356      |
| H              | 1.58         | 1.586         | 2.282        | 1.306       |
| <b>Z_score</b> | <b>3.588</b> | <b>-2.551</b> | <b>3.541</b> | <b>-4.4</b> |

**Tabel E.3** Nilai *Z-score* Biji Kopi Mentah Arabika Produsen 3 dan Produsen 4

| Variabel | Produsen 4 |        | Produsen 5 |        |
|----------|------------|--------|------------|--------|
|          | Biasa      | Luwak  | Biasa      | Luwak  |
| Constant | -5.929     | -5.929 | -5.929     | -5.929 |
| Ca       | 11.827     | 4.91   | 7.657      | 5.931  |
| W        | -3.99      | -1.181 | -0.927     | -0.541 |
| Z_score  | 1.908      | -2.201 | 0.801      | -0.539 |

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan, diantaranya :

- a. Unsur – unsur yang terdeteksi di dalam biji kopi diantaranya Ca, W, Sr, Mg, Na, H, N, K, O, dan Rb. Namun, secara keseluruhan tidak terdapat unsur tambahan pada biji kopi mentah akibat proses pencernaan oleh luwak.
- b. Hasil normalisasi unsur – unsur N, H, dan O terhadap unsur Ca secara umum nilainya lebih tinggi untuk biji kopi mentah luwak dibandingkan biji kopi mentah biasa.
- c. Berdasarkan analisis DFA yang membedakan antara Arabika Biasa dengan Luwak adalah unsur-unsur berdasarkan luasan Ca, W, Sr, Mg, H. Sementara yang membedakan antara Robusta Biasa dengan Luwak adalah unsur-unsur berdasarkan luasan Ca dan W.

#### **5.2 Saran**

Dalam penelitian tugas akhir ini, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian tugas akhir ini adalah:

- a. Pengambilan data spektra unsur netral (misalnya : Ca, N, H, dan O) untuk membuat kurva kalibrasi sehingga konsentrasi unsur dapat diketahui dalam ppm (*part per million*).
- b. Pengujian pada kondisi vakum untuk mendeteksi unsur C yang juga menjadi unsur utama pada sampel organik.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR PUSTAKA

- Anabitarte, F., Cobo, A., Higuera, J.M.. 2012. "Review Article : Laser-Induced Breakdown Spectroscopy : Fundamental, Applications, and Challenge". **ISRN Spectroscopy**, Volume 2012, Article ID 285240, 12 pages.
- Avallone, S., dkk., 2001. "Microbiological and Biochemical Study of Coffee Fermentation". **Current Microbiology**, 42(4), 252-256.
- Chemicool. 2014. **Definition of Monochromator**, <URL: <http://www.chemicool.com/definition/monochromators.html>>.
- Cremers, D. A. dan L.J. Radziemski. 2006. **Handbook of Laser-Induced Plasma and Application**. John Wiley & Sons, Ltd
- Cremers, D. A. dan L.J. Radziemski. 2013. **Handbook of Laser-Induced Plasma and Application Second Edition**. John Wiley & Sons, Ltd.
- Farah, Adriana. 2012. **Coffee Constituent**, <URL:[http://www.ift.org/IFTPressBook\\_Coffee\\_PreviewChapter.pdf](http://www.ift.org/IFTPressBook_Coffee_PreviewChapter.pdf)>.
- Gaiglitz, G. Dan Co-Dinh, T. 2003. **Handbook of Spectroscopy, Volume I**. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Gardner, R.C.. 2009. **Research Design – Topic 23 Discriminant Function Analysis**, <URL: <http://publish.uwo.ca/~gardner/DataAnalysisDotCalm/Lectures/TOPIC%2023a.pdf>>.
- Gondal, M. A. dkk.. Mei, 2016. Direct Spectral Analysis of Tea Samples using 266 nm UV Pulsed Laser-induced Breakdown Spectroscopy and Cross Validation of LIBS Results with ICP-MS. **Talanta** 13;152:341-52.
- Hadipernata, M. dan Nugraha, S.. November, 2012. Identifikasi Fisik, Kimia, dan Mikrobiologi Biji Kopi Luwak sebagai Dasar Acuan Teknologi Proses Kopi Luwak Artificial. **Prosiding InSINas 2012**.
- ICO. Maret, 2016. **Total production by all exporting countries**, <URL: <http://www.ico.org/prices/po-production.pdf>>
- ICO. Maret, 2016. **World Coffee Consumption**, <URL: <http://www.ico.org/prices/new-consumption-table.pdf>>.

- Kanawade, R., dkk. 2015. "Qualitative Tissue Differentiation by Analysing the Intensity Ratios of Atomic Emission Lines using Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS): Prospects for a Feedback Mechanism for Surgical Laser Systems". **Journal of Biophotonics** 8, No. 1–2, 153–161.
- Kim, T. dan Lin, C.. 2012. **Laser-Induced Breakdown Spectroscopy**, <URL:<http://dx.doi.org/10.5772/48281>>.
- Lee, L.W., dkk. 2015. "Review : Coffee Fermentation and Flavor – An Intricate and Delicate Relationship". **Journal of Food Chemistry** 185 (2015) 182–191.
- Mahendradatta, M., Zainal, Israyanti, Tawali, A. B.. 2013. **Comparison of Chemical Characteristics and sensory Value between Luwak Coffee and Original Coffee from Arabica (*Cafeea arabica*. L) and Robusta (*Cafeea canephora*. L)**. Makassar : Hasanuddin University.
- Marcone, M.F.. 2004. 'Composition and Properties of Indonesian Palm Civet Coffee (Kopi Luwak) and Ethiopian Civet Coffee". **Journal of Food Research International** 37 (2004) 901–912.
- Mohaidat, Q.I.. 2011. **Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) : An Innovative Tool for Studying Bacteria**. Michigan : Wayne State University.
- Nasional Institute Standards and Technology, <URL: <http://www.nist.gov/>>
- Peraturan Menteri Pertanian Nomor 52/Permentan/OT.140/9/2012 Tentang Pedoman Penanganan Pascapanen Kopi.
- Peraturan Menteri Pertanian Nomor 37/Permentan/KB.120/6/2015 Tentang Cara Produksi Kopi Luwak melalui Pemeliharaan Luwak yang Memenuhi Prinsip Kesejahteraan Hewan.
- Photon Mechine : AddLIBS<sup>TM</sup>. 2009. "Laser-Induced Breakdown Spectroscopy Software, User Guide Version 2.2".
- Photon Mechine : Insight<sup>TM</sup>. 2011. "Laser-Induced Breakdown Spectroscopy Software, User Manual Version 1.2".
- Pohl, P., Stelmach, E., Welna, M.. Juni, 2012. "Determination of

- the Elemental Composition of Coffee Using Instrumental Methods”. **Journal of Food Anal. Methods** (2013) 6:598–613.
- Prastowo, B. dkk. 2010. **Budidaya dan Pasca Panen Kopi**. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan.
- Pujol, D. dkk., Juli, 2013. “The Chemical Composition of Exhausted Coffee Waste”. **Journal of Industrial Crops and Products** 50 (2013) 423–429.
- Putri, S. P., Jumhawan, U., Fukusaki, E. 2013. “Application of GC/MS and GC/FID-based Metabolomics for Authentication of Asian Palm Civet Coffee (Kopi Luwak)”. **Shimadzu Journal**, Vol.4.
- Rai, V.N.. 2014. **Laser-Induced Breakdown Spectroscopy : A Versatile Technique of Elemental Analysis and Its Applications**, <URL:<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1407/1407.0132.pdf>>.
- Rahardjo, Pudji. 2012. Panduan Budidaya dan Pengolahan Kopi Arabika dan Robusta. **Penebar Swadaya**. Jakarta
- Singh, J.P., dan Thakur S. N.. 2007. **Laser-Induced Breakdown Spectroscopy**. Elsevier B.V.
- Suyanto, H. 2016. “Qualitative Analysis of Black Stone and Its Application for Detecting Ag and Pb in Liquid Sample by Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)”. **AIP Conference Proceedings** 1719.
- Svelto, O. 2010. **Principles of Lasers Fifth Edition**. New York : Springer Science + Business Media.
- Ukers, William H.. 2009. **Ebook : All About Coffe**. K.D. Thornton, Suzanne Lybarger, Greg Bergquist and the Online Distributed Proofreading Team at <http://www.pgdp.net>.
- Yusiyanto, Mawardi, S.. 2010. “Karakteristik Fisik dan Citarasa Kopi Luwak”. **Prosiding Simposium Kopi 2010**.
2014. **Laser tutorial – Working Principle of Laser**, <URL: <http://www.equestionanswers.com/notes/laser.php>>
2015. **Caffein in Coffee**, <URL:<http://www.coffeechemistry.com/chemistry/alkaloids/caffeine-in-coffee>>.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



Penulis bernama Nufiqurakhmah, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara yang dilahirkan di Kebumen, 17 Maret 1992. Pendidikan formalnya dimulai dari TK Sari Nabati, dilanjutkan di SD N V Panjer (kelas I-III), SD N IV Bumirejo (kelas IV-VI). SMP N 1 Kebumen dan SMA N 1 Kebumen. Usai lulus SMA pada 2010, penulis melanjutkan pendidikannya di Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi Institut Teknologi Bandung (ITB). Penulis pernah bekerja di salah satu perusahaan swasta di Jakarta yang bergerak di bidang IT *Software & Consultant* selama satu tahun sebelum melanjutkan pendidikannya. Pada Agustus 2014 penulis resmi terdaftar dan memulai pendidikannya di Program Lintas Jalur (LJ) Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (TF-ITS). Selain sebagai mahasiswa, penulis juga bekerja di Homeschooling HATI sebagai admin dan tutor untuk berbagai jenjang pendidikan. Selain tu, penulis juga menjadi asisten untuk mata kuliah. Fisika Bahan di tengah kesibukannya mengerjakan tugas akhir. Penulis memilih bidang minat Rekayasa Fotonika dan memilih tema spektroskopi untuk penelitiannya.