TUGAS AKHIR – TF 141581

ANALISIS PENCIRI SPEKTRAL BIJI KOPI HIJAU ARABIKA DAN ROBUSTA MENGGUNAKAN LIBS (LASER-INDUCED BREAKDOWN SPECTROSCOPY)

KARINA ANGGRAENI
NRP 2414 105 021

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

FINAL PROJECT – TF 141581

ANALYSIS OF SPECTRAL IDENTIFIER FOR GREEN COFFEE BEANS ARABICA AND ROBUSTA USING LIBS (LASER-INDUCED BREAKDOWN SPECTROSCOPY)

KARINA ANGGRAENI
NRP 2414 105 021

Supervisor:
Dr. rer.nat. Ir. Aulia M. T. Nasution, M.Sc.
Dr. Hery Suyanto

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2016

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENCIRI SPEKTRAL BIJI KOPI HIJAU ARABIKA DAN ROBUSTA MENGGUNAKAN LIBS *(LASER-INDUCED BREAKDOWN SPECTROSCOPY)*

TUGAS AKHIR
Oleh:

Karina Anggraeni
NRP : 2414 105 021

Surabaya, Juli 2016
Mengetahui/Menyetujui,

Pembimbing I,	Pembimbing II,
Dr.rer.nat.Ir.Aulia M. T. Nasution, M.Sc.	Dr.Hery Suyanto
NIP. 19671117 199702 1 001	NIP. 19630421 199003 1 015

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISIS PENCIRI SPEKTRAL BIJI KOPI HIJAU ARABIKA DAN ROBUSTA MENGGUNAKAN LIBS *(LASER-INDUCED BREAKDOWN SPECTROSCOPY)*

TUGAS AKHIR

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

Oleh :
KARINA ANGGRAENI
NRP. 2414 105 021

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr.rer.nat.Ir.Aulia M. T. N, M.Sc. ..... (Pembimbing I)
2. Dr. Hery Suyanto ..... (Pembimbing II)
3. Prof. Dr.Ir.Sekartedjo, M.Sc. ..... (Ketua Penguji)
4. Detak Yan Pratama, S.T, M. Sc. ..... (Penguji I)
5. Arief Abdurrakhman, S.T, M.T. ..... (Penguji II)

SURABAYA
JULI 2016

vii

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISIS PENCIRI SPEKTRAL BIJI KOPI HIJAU ARABIKA DAN ROBUSTA MENGGUNAKAN LIBS *(LASER-INDUCED BREAKDOWN SPECTROSCOPY)*

Nama	**: Karina Anggraeni**
NRP	**: 2414105021**
Jurusan	**: Teknik Fisika**
Dosen Pembimbing	**: Dr.rer.nat.Ir.Aulia M.T. N, M.Sc.**
	Dr.Hery Suyanto

Abstrak

Kopi merupakan salah satu komoditas di dunia yang dibudidayakan lebih dari 50 negara. Produksi kopi di Indonesia menempati peringkat ke 4 di bawah Brazil, Vietnam dan Colombia. Kopi yang dibudidayakan di Indonesia secara umum ada dua jenis yaitu kopi robusta dan kopi arabika. Komposisi unsur pada jenis kopi arabika dan robusta ini berbeda. Para tester kopi dapat membedakan kopi arabika dan robusta yang dapat diketahui dari rasanya tetapi penilaian tester ini sangat subjektif. *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)* adalah sebuah teknik analisis berdasarkan spektroskopi dari mikro plasma yang diinduksi pada permukaan uji dengan pulsa laser. Pada penelitian ini dilakukan analisis penciri spektral dari biji kopi hijau arabika dan robusta yang berasal dari Malang, Bondowoso, Pasuruan dan Prigen dengan menggunakan *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS).* Hasil pengujian diperoleh kondisi optimum untuk pengujian biji kopi hijau menggunakan LIBS dengan energi 120 mJ dan *delay time* 1,0 μs. Pada biji kopi hijau arabika dan robusta mengandung unsur Ca, W, Sr, Mg, Be, Na, H, N, K, Rb dan O. Metode analisis diskriminan dapat diterapkan untuk membedakan biji kopi hijau arabika dan robusta. Unsur penciri dari biji kopi hijau arabika dan robusta adalah Ca, W, Mg, Be, Na dan Sr. Unsur yang paling banyak terkandung dalam biji kopi hijau adalah Ca sehingga unsur Ca merupakan unsur utama penyusun dalam biji kopi hijau. Pengujian *depth profile* menunjukan bahwa unsur Ca di biji kopi hijau homogen.

Kata Kunci:biji kopi hijau, arabika dan robusta, LIBS, unsur penciri

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALYSIS OF SPECTRAL IDENTIFIER FOR GREEN COFFEE BEANS ARABICA AND ROBUSTA USING LIBS (LASER-INDUCED BREAKDOWN SPECTROSCOPY)

Name **: Karina Anggraeni**
NRP **: 2414105021**
Major **: *Engineering Physics* FTI - ITS**
Supervising Lecturer **: Dr.rer.nat.Ir.Aulia M. T. N, M.Sc.**
Dr.Hery Suyanto

Abstract

Coffee is one of the commodities in the world's commodity, that is cultivated in more than 50 countries. Production of coffee in Indonesia is positioned of fourth rank in the world, after Brazil, Vietnam, and Colombia. There are two varieties coffee grown in Indonesia, which are the arabica and robusta. The chemical compositions between arabica and robusta are different each other. A trained coffee tester can distinguish these differences from its taste, but it is very subjective. Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) is a spectroscopic technique based on the analysis of micro-plasma induced on the surface sample after being shot with a laser pulse. In this study, elemental spectra acquired using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) technique were analyzed to differentate between green coffee beans of arabica and robusta, which are collected from plantations in Malang, Bondowoso, Prigen, and Pasuruan. Results show that optimum conditions for acquiring spectra from green coffee beans using LIBS are at 120 mJ of laser energy and 1,0 μs of delay time. Green coffee beans of arabica and robusta contain some elements such as Ca, W, Sr, Mg, Be, Na, H, N, K, Rb, and O. Discriminant analysis method was then applied to distinguish the green beans of arabica and robusta coffee. Element identifier of green coffee beans arabica and robusta are Ca, W, Mg, Be, Na and Sr. Element identifiers of green coffee beans are Ca, W, Mg, Be, Na, and Sr. The abundant element in green coffee beans is Calcium (Ca), and depth-profile testing shows that Ca is homogeneous inside the beans.

Keywords**: **green coffee beans, arabica and robusta, LIBS, element identifier

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
Abstrak	ix
Abstract	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Sistematika Laporan	4
BAB II DASAR TEORI	7
2.1 Kopi	7
2.2 Jenis-Jenis Kopi	8
2.3 Komposisi Kopi	9
2.4 Proses Pengolahan Kopi	10
2.5 Syarat tumbuh penanaman kopi	14
2.5.1 Persyaratan Iklim	14
2.5.2 Pengaruh Angin	14
2.5.3 Tanah	14
2.6 *Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)*	15
2.6.1 LASER	16
2.6.2 Laser Nd : YAG	18

2.6.3 Interaksi laser dengan bahan 21
2.6.4 Spektrometer 22
2.6.5 Waktu Tunggu Deteksi *(Delay Time Detection)* 24
2.7 NIST (National Institute of Standards and Technology) 26
2.8 Metode Analisis Diskriminan 27
2.9 Perbandingan Intensitas *(Intensity Ratio)* 29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 31
3.1 Studi Literatur 33
3.2 Pengumpulan Sampel Kopi 33
3.3 Pemilihan Sampel Biji Kopi 34
3.4 Penentuan Kondisi Optimum Pengujian Biji Kopi Dengan LIBS 34
3.5 Pengujian Sampel Dengan LIBS 35
3.6 Hasil Spektral Biji Kopi Ditampilkan Dalam Bentuk Grafik 35
3.7 Validasi Hasil Spektral Dengan Standar NIST 36
3.8 Perbandingan Intensitas Unsur Biji Kopi Hijau Arabika dan Robusta 36
3.9 Penentuan Penciri Biji Kopi Hijau Arabika dan Robusta 37
3.10 Analisis Hasil Pengujian dan Pembahasan 37
3.11 Penarikan Kesimpulan dan Penyusunan Laporan 37

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 39
4.1 Karakterisasi *Delay Time Detection* dan Energi Laser pada LIBS 39
4.2 Analisis Kualitatif Unsur Biji Kopi Hijau Arabika dan Robusta 45
4.3 Analisis Unsur Biji Kopi Hijau Arabika dan Robusta dengan Metode Diskriminan 53
4.4 Analisis Homogenitas Unsur Biji Kopi Hijau 57
4.5 Analisis Tingkat Kekerasan Biji Kopi Hijau Arabika dan Robusta 62
BAB V PENUTUP 65
5.1 Kesimpulan 65
5.2 Saran 65
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN A

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penampang lintang buah kopi (Permentan, 2012) 7
Gambar 2.2 Proses pengolahan kopi kering (kiri) dan basah (kanan) (Permentan, 2012) 11
Gambar 2.3 Pengeringan kopi 13
Gambar 2.4 Susunan peralatan LIBS (Utomo, 2014) 15
Gambar 2.5 Grafik intensitas fungsi panjang gelombang 16
Gambar 2.6 Ilustrasi sebuah atom (Surya, Y., 2016) 17
Gambar 2.7 Absorpsi, emisi spontan dan emisi terstimulasi (Fisika, Unpad., 2009) 18
Gambar 2.8 Diagram (a) kerja laser zat padat (Nd:YAG) (b) tiga tingkat energi laser (Arianti, 2014) 19
Gambar 2.9 Proses pembentukan plasma (Arianti. 2014) 22
Gambar 2.10 Diagram monokromator (Wikipedia, 2016) 23
Gambar 2.11 Contoh spektrum yang dihasilkan oleh *software* AddLIBS 24
Gambar 2.12 Waktu deteksi dan hasil spektra (a) sinyal latar plasma tinggi (b) sinyal latar plasma rendah (Cremers, 2013) 25
Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir 32
Gambar 3.2 Susunan peralatan pengujian 35
Gambar 4.1 Spektra biji kopi arabika dengan berbagai delay time detection pada energi laser 80 mJ dan pada daerah panjang gelombang 422,32-422,72 nm 40
Gambar 4.2 Spektra biji kopi arabika dengan berbagai delay time detection pada energi laser 100 mJ dan pada daerah panjang gelombang 422,32-422,72 nm 41
Gambar 4.3 Spektra biji kopi arabika dengan berbagai delay time detection pada energi laser s120 mJ dan pada daerah panjang gelombang 422,32-422,72 nm 41

Gambar 4.4 Grafik intensitas Ca (I) dikurangi intensitas background pada biji kopi hijau 43
Gambar 4.5 Perbandingan intensitas biji kopi hijau arabika dan robusta dari Malang 45
Gambar 4.6 Perbandingan intensitas biji kopi hijau arabika dan robusta dari Bondowoso 46
Gambar 4.7 Perbandingan intensitas biji kopi hijau arabika dan robusta dari Pasuruan 46
Gambar 4.8 Perbandingan intensitas biji kopi hijau arabika dan robusta dari Prigen 47
Gambar 4.9 Kandungan unsur Ca (I) pada biji kopi hijau arabika dan robusta 48
Gambar 4.10 Homogenitas unsur Ca (I) pada 422,67 nm biji kopi hijau arabika dan robusta Malang 59
Gambar 4.11 Homogenitas unsur Ca (I) pada 422,67 nm biji kopi hijau arabika dan robusta Bondowoso 59
Gambar 4.12 Homogenitas unsur Ca (I) pada 422,67 nm biji kopi hijau arabika dan robusta Pasuruan 60
Gambar 4.13 Homogenitas unsur Ca (I) pada 422,67 nm biji kopi hijau arabika dan robusta Prigen 60
Gambar 4.14 Intensitas rasio unsur O (I) terhadap Ca (I) pada biji kopi hijau 62
Gambar 4.15 Tingkat kekerasan biji hijau kopi tiap daerah 63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi biji kopi arabika dan robusta sebelum dan sesudah disangrai serta kopi bubuk instan (% bobot kering) (Clarke dan Macrae, 1987) 10
Tabel 2.2 Syarat mutu umum biji kopi (Permentan, 2012) 12
Tabel 2.3 Persyaratan kondisi iklim dan tanah optimal tanaman kopi (ICO, 2014) 14
Tabel 4.1 Intensitas Ca (I) dikurangi *background* pada biji hijau kopi untuk berbagai energi laser 42
Tabel 4.2 FWHM 44
Tabel 4.3 Kandungan unsur Ca (I) pada biji kopi hijau arabika dan robusta 49
Tabel 4.4 Tabel *tests of equality of group means* 54
Tabel 4.5 Nilai *Canonical Correlation* Model 55
Tabel 4.6 Nilai Wilks' Lambda 55
Tabel 4.7 Fungsi diskriminan *canonical* 56
Tabel 4.8 Tabel *Function at Group Centroid* 57
Tabel 4.9 Rasio intensitas Ca (II) terhadap Ca (I) pada biji kopi hijau 63

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kopi merupakan komoditas yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat di dunia. Konsumsi kopi oleh penduduk dunia lebih banyak dibandingkan komsumsi teh di dunia. Hampir 2 miliar cangkir kopi dikonsumsi oleh penduduk dunia setiap harinya (AEKI, 2014). Kopi merupakan salah satu komoditas di dunia yang dibudidayakan lebih dari 50 negara (Rahardjo, 2012). Menurut International Coffee Organization (ICO) konsumsi kopi meningkat dari tahun ke tahun sehingga peningkatan produksi kopi di Indonesia memiliki peluang besar untuk menjadi pengekspor kopi ke negara-negara pengonsumsi kopi seperti Uni Eropa, Amerika Serikat dan Jepang.

Komoditas kopi memegang peranan penting dalam perekonomian Indonesia. Kopi merupakan komoditas ekspor penting bagi Indonesia yang mampu menyumbang devisa yang cukup besar. Devisa yang diperoleh dari ekspor kopi dapat mencapai ± USD 824,02 juta (2009), dengan melibatkan ± 1,97 juta Kepala Keluarga(KK) yang menghidupi 5 juta jiwa keluarga petani (Ditjenbun, 2011).

Produksi kopi di Indonesia menempati peringkat ke 4 di bawah Brazil, Vietnam dan Colombia dengan jumlah sebesar 10.650 *thousand 60-kilogram bags.* Selain itu, Indonesia sebagai eksportir kopi juga menempati peringkat ke 4 dengan jumlah sebesar 5.500 *thousand 60-kilogram bags* (USDA, 2015). Dimana 1 *bags* dari kopi setara dengan 60 kilogram kopi. 1 ton sama dengan 1.000 kilogram. Jika 10.650 *thousand 60-kilogram bags* berarti sekitar 639.000 ton kopi.

Tanaman kopi ada sekitar 60 spesies di dunia, ditinjau dari segi ekonomis spesies yang terpenting adalah kopi arabika (*Coffea arabika*) dan kopi robusta (*Coffea canephora*) (Rahardjo, 2012). Kopi yang dibudidayakan di Indonesia secara umum ada dua jenis yaitu kopi robusta dan kopi arabika. Di Indonesia,

produksi kopi robusta lebih besar dibandingkan kopi arabika, dimana produksi kopi robusta sebesar 80% dan kopi arabika sebesar 19% dari total produksi kopi di Indonesia. Provinsi Jawa Timur merupakan salah satu sentra produksi kopi di Indonesia yang memiliki potensi untuk memajukan pembangunan ekonomi dengan meningkatkan produktivitas kopi. Produksi kopi di Jawa Timur menempati posisi ke 4 sebesar 59.702 ton di bawah Provinsi Sumatera Selatan, Lampung, dan Bengkulu (AEKI, 2014).

Komposisi kimia biji kopi terdiri dari karbohidrat, minyak, protein, asam-asam non volatil, trigonelin, kafein dan unsur-unsur lain yang mempengaruhi tingkat keasaman, tingkat kepahitan dan aroma kopi. Komposisi unsur pada jenis kopi arabika dan robusta ini berbeda. Kopi robusta memiliki rasa yang lebih pahit, sedikit asam dan mengandung kafein lebih banyak dibandingkan kopi arabika (Cahyono, 2012). Para tester kopi juga dapat membedakan kopi arabika dan robusta yang dapat diketahui dari rasanya tetapi penilaian tester ini sangat kualitatif dan subjektif. Penelitian secara kuantitatif mengenai informasi spektral kopi arabika dan robusta terkait kualitas dan rasa kopi belum banyak dilakukan. Untuk itu diperlukan data kuantitatif untuk memastikan dan menjaga kualitas dari kopi yang akan dipasarkan. Kualitas kopi yang baik akan memenuhi persyaratan untuk diekspor ke luar negeri.

Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) adalah sebuah teknik analisis berdasarkan spektroskopi dari mikro plasma yang diinduksi pada permukaan uji dengan pulsa laser (Kaiser, J., 2012). LIBS ini dapat menganalisa secara kuantitatif sampel yang berbentuk padat, cair dan gas. LIBS dapat dimanfaatkan untuk beberapa aplikasi diantaranya pemantauan lingkungan untuk mengukur kontaminasi dari pencemar tanah (Zolotovitskaya *et al.*, 1997), mendeteksi logam beracun (Yamamoto *et al.*, 1996; Buckley *et al.*, 2000), mempelajari komposisi kimia dalam cairan (Yueh *et al.*, 2002; Samek *et al.*, 2000), mempelajari komposisi kimia dalam polimer (Sattmann *et al.*, 1998), forensik dan aplikasi militer (Kincade, 2003), studi

biomedis dari tulang dan gigi, restorasi seni (atau konservasi), dengan menganalisis pigmen dan /atau logam mulia dan kuno (Anzano *et al.*, 2002) serta aplikasi yang lain. LIBS ini memiliki kelebihan diantaranya spektral yang dihasilkan berulang (repeatable), hasilnya konsisten/reliable, sensitivitasnya tinggi dan sampel yang dibutuhkan sedikit (Yamani, 2004).

Identifikasi data dan unsur secara kuantitatif pada jenis kopi arabika dan robusta dapat dilakukan dengan metode spektroskopi. Jenis spektroskopi di antaranya adalah UV-Vis, IR, NIR, FTIR, dan LIBS. Pada tahun 2012 telah dilakukan penelitian mengenai evaluasi kualitas biji kopi hijau dengan *NIR Spectroscopy (NIRS)*. Kopi yang digunakan berasal dari Indonesia, Vietnam, Colombia dan Nikaragua. Spektra dari NIR yang dihasilkan dianalisis dengan PCA *(Principal Component Analysis)* untuk mengidentifikasi kualitas biji kopi hijau. Hasilnya NIRS dapat mengkuantifikasi biji kopi hijau yang cacat dan tidak cacat terkait penilaian kualitas biji kopi hijau secara cepat, membedakan kopi arabika dan robusta dari lokasi geografis yang berbeda, dan kesalahan relatif dari NIRS sebesar 5% (Santos, 2012).

Pada tahun 2013 telah dilakukan penelitian mengenai prediksi varietas kopi yaitu biji hijau kopi arabika dan robusta dengan menggunakan *NIR Spectroscopy (NIRS)*. Kopi arabika dan robusta berasal dari beberapa daerah di Indonesia yaitu Aceh, Mandheling, Java, Sulawesi Kalosi dan Flores, dan Kawista. Hasil penelitian ini dengan metode NIRS bisa membedakan varietas kopi arabika dan robusta (Adnan, 2013).

Berdasarkan keunggulan-keunggulan dari LIBS yang telah dijelaskan pada penelitian sebelumnya, maka dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisis penciri spektral dari biji kopi hijau arabika dan robusta dengan menggunakan *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)*. Biji kopi hijau didapatkan dengan mengunjungi produsen/petani kopi di daerah Jawa Timur. Biji kopi hijau ditembakan laser sehingga menghasilkan plasma. Plasma ini akan ditangkap detektor berupa spektrometer, yang akan menghasilkan informasi spektral dari tiap-tiap sampel biji kopi hijau yang kemudian akan dianalisis. Hasil yang diharapkan

mengetahui penciri spektral yang membedakan kopi arabika dan robusta secara kuantitatif.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, permasalahan yang akan diselesaikan dalam tugas akhir ini adalah bagaimana mendapatkan penciri spektral yang mampu digunakan secara akurat untuk membedakan kopi arabika dan robusta.

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian dalam tugas akhir ini adalah mengetahui penciri dari informasi spektral yang bisa digunakan secara akurat untuk membedakan kopi arabika dan robusta.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini antara lain :

a. Penelitian dilakukan menggunakan *Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS).*
b. Laser yang digunakan Nd:YAG laser (model CRF 200 mJ, 1.064 nm, 7 ns)
c. Perangkat lunak yang digunakan OOILIBS dan addLIBS.
d. Sampel berupa biji kopi hijau.
e. Sampel kopi arabika dan robusta berasal dari daerah Malang, Bondowoso, Pasuruan, Prigen di Jawa Timur.

1.5 Sistematika Laporan

Laporan tugas akhir ini disusun secara sistematis melalui pembagian beberapa bab dengan rincian sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini dipaparkan mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika laporan yang digunakan dalam Tugas akhir penulis.

BAB II DASAR TEORI

Pada bab ini dijelaskan tentang teori yang berisi jenis-jenis kopi, karakterististik kopi arabika dan robusta, spektroskopi dan LIBS digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini terdiri dari penjelasan detail mengenai langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan dari penelitian tugas akhir ini. Secara garis besar langkah-langkah tersebut meliputi pengambilan data sampel biji kopi hijau dan analisis spektral yang dihasilkan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini terdiri dari penjelasan analisis data hasil spektral yang dihasilkan oleh masing-masing biji kopi hijau arabika dan robusta. Berdasarkan data yang diperoleh kemudian dilakukan pembahasan yaitu dengan membandingkan biji kopi hijau arabika dan robusta dan mencari penciri yang membedakan antara keduanya.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan. Berdasarkan hasil dan kesimpulan yang diperoleh penulis juga merekomendasikan beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

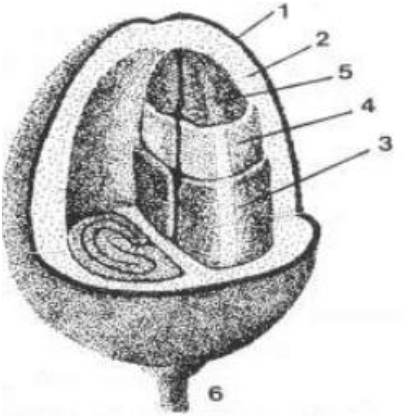
BAB II
DASAR TEORI

2.1 Kopi

Kopi merupakan salah satu jenis tanaman perkebunan yang sudah lama dibudidayakan dan memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi. Kopi berasal dari Afrika, yaitu daerah pegunungan di Ethiopia. Konsumsi kopi dunia mencapai 70% berasal dari spesies kopi arabika dan 30% berasal dari spesies kopi robusta (Rahardjo, 2012). Buah kopi tediri atas tiga bagian, yaitu :

1. lapisan kulit luar (excocarp)
2. lapisan daging (mesocarp)
3. lapisan kulit tanduk (endoscarp)

Adapun susunan buah kopi disajikan pada Gambar 2.1 berikut ini :



1. Kulit buah
2. Daging buah
3. Kulit tanduk
4. Kulit ari
5. Biji
6. Tangkai

Gambar 2.1 Penampang lintang buah kopi (Permentan, 2012)

Kulit luar terdiri dari satu lapisan yang tipis. Kulit buah yang masih muda berwarna hijau tua yang kemudian berangsur-angsur berubah menjadi hijau kekuningan, kuning, dan akhirnya menjadi merah sampai merah kehitaman apabila buah kopi itu telah masak.

Biji buah kopi terdiri atas dua bagian, yaitu kulit biji dan putih lembaga (endosperm). Pada permukaan biji di bagian yang datar terdapat saluran atau celah lubang yang arahnya memanjang dan dalam ukuran biji. Sejajar dengan saluran itu, terdapat pula satu lubang yang berukuran sempit, dan merupakan satu kantong yang tertutup. Di sebelah bawah dari kantong itu terdapat lembaga (embrio) dengan sepasang daun yang tipis (Ridwansyah, 2003).

Buah kopi pada umumnya mengandung 2 butir biji, tetapi kadang-kadang mengandung hanya sebutir saja. Pada kemungkinan yang pertama biji-bijinya mempunyai bidang datar (perut biji) dan bidang cembung (punggung biji). Pada kemungkinan yang kedua biji kopi berbentuk bulat panjang (kopi jantan).

2.2 Jenis-Jenis Kopi

Ada empat jenis kopi yang telah dibudidayakan (Najiyati dan Danarti, 2004), yakni :

1. Kopi Arabika

Kopi arabika merupakan kopi yang paling banyak di kembangkan di dunia maupun di Indonesia. Kopi ini ditanam pada dataran tinggi yang memiliki iklim kering sekitar 1.350-1.850 m dari permukaan laut. Sedangkan di Indonesia sendiri kopi ini dapat tumbuh dan berproduksi pada ketinggian 1.000-1.750 m dari permukaan laut. Jenis kopi ini cenderung tidak tahan serangan penyakit karat daun (*Hemileia vastatrix*).

2. Kopi Liberika

Jenis kopi ini berasal dari dataran rendah Monrovia di daerah Liberika. Pohon kopi liberika tumbuh dengan subur di daerah yang memilki tingkat kelembapan yang tinggi dan panas. Kopi ini sudah cukup lama penyebarannya tetapi hingga saat ini jumlahnya masih terbatas karena kualitas buah yang kurang bagus dan rendemennya rendah (Clarke dan Macrae, 1987). Rendemen adalah presentase antara buah yang dipanen dengan biji kopi (*green bean*) yang dihasilkan. Misal rendemen biji kopi Liberika 5-10% dan Arabika 16-18% berarti bahwa setiap 100 kg

buah kopi segar untuk Liberika menghasilkan 5-10 kg biji kopi dan untuk arabika 16-18 kg biji kopi.

3. Kopi Canephora (Robusta)

Kopi Canephora juga disebut kopi Robusta. Nama Robusta lebih banyak dipergunakan dalam dunia perdagangan, sedangkan Canephora adalah nama ilmiah dalam bahasa latinnya. Jenis kopi ini berasal dari Afrika, dari pantai barat sampai Uganda. Kopi robusta memiliki kelebihan dari segi produksi yang lebih tinggi di bandingkan jenis kopi arabika dan liberika. Kopi *robusta* dapat dikatakan sebagai kopi kelas 2, karena rasanya yang lebih pahit, sedikit asam, dan mengandung kafein dalam kadar yang jauh lebih banyak. Selain itu, cakupan daerah tumbuh kopi *robusta* lebih luas dari pada kopi *arabika* yang harus ditumbuhkan pada ketinggian tertentu. Kopi ini dapat ditumbuhkan di dataran rendah sampai ketinggian 1.000 meter diatas permuakaan laut. kopi jenis ini lebih resisten terhadap serangan hama dan penyakit. Hal ini menjadikan kopi *robusta* lebih murah (Cahyono, 2012).

4. Kopi Hibrida

Kopi hibrida merupakan turunan pertama hasil perkawinan antara dua spesies atau varietas yaitu antara arabika dengan liberika, arabika dengan robusta, sehingga mewarisi sifat unggul dari kedua induknya. Namun, keturunan dari golongan hibrida ini sudah tidak mempunyai sifat yang sama dengan induk hibridanya. Oleh karena itu, pembiakannya hanya dengan cara vegetatif seperti stek atau sambungan.

2.3 Komposisi Kopi

Komposisi kimia dari biji kopi bergantung pada spesies dan varietas dari kopi tersebut serta faktor-faktor lain yang berpengaruh antara lain lingkungan tempat tumbuh, tingkat kematangan dan kondisi penyimpanan. Proses pengolahan juga akan mempengaruhi komposisi kimia dari kopi. Kopi seperti halnya tanaman lain mengandung ribuan komponen kimia dengan karakteristik yang berbeda-beda. Struktur kimia yang terpenting terdapat di dalam kopi adalah kafein. Kafein adalah senyawa alkaloid turunan dari methyl xanthyne dengan nama struktur

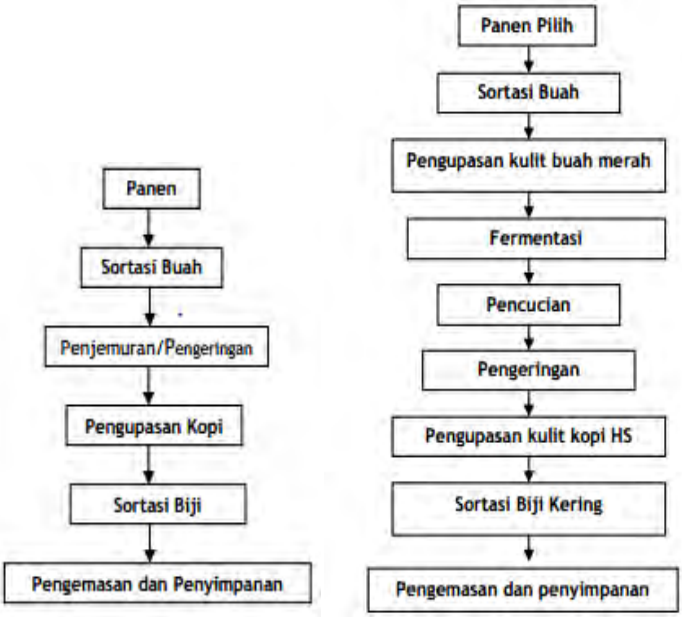
kimia 1,3,7 trimethyl xanthyne berbentuk kristal dan berasa pahit yang sering digunakan sebagai obat perangsang psikoaktif dan diuretik ringan (Hodgson, 1987). Kadar kafein yang terdapat pada kopi robusta lebih tinggi dibandingkan dengan kopi arabika. Kafein berfungsi untuk merangsang aktivitas susunan saraf dan meningkatkan kerja jantung sehingga jika dikonsumsi dalam jumlah berlebihan akan bersifat racun dengan menghambat mekanisme susunan saraf manusia (Henderson, 1976).

Tabel 2.1 Komposisi biji kopi arabika dan robusta sebelum dan sesudah disangrai serta kopi bubuk instan (% bobot kering) (Clarke dan Macrae, 1987)

Komponen	Arabika Green	Arabika Roasted	Robusta Green	Robusta Roasted	Bubuk kopi instan
Mineral	3.0-4.2	3.5-4.5	4.0-4.5	4.6-5.0	9.0-10.0
Kaffein	09-1.2	1.0	1.6-2.4	2.0	4.5-5.1
Trigonelline	1.0-1.2	0.5-1.0	0.6-0.75	0.3-0.6	-
Lemak	12.0-18.0	14.5-20.0	9.0-13.0	11.0-16.0	1.5-1.6
Total Chlorogenic Acid	5.5-8.0	1.2-2.3	7.0-10.0	3.9-4.6	5.2-7.4
Asam Alifatis	1.5-2.0	1.0-1.5	1.5-1.2	1.0-1.5	-
Oligosakarida	6.0-8.0	0-3.5	5.0-7.0	0-3.5	0.7-5.2
Total Polisakarida	50.0-55.0	24.0-39.0	37.0-47.0	-	6.5
Asam amino	2.0	0		0	0
Protein	11.0-13.0	13.0-15.0		13.0-15.0	16.0-21.0
Humic acids	-	16.0-17.0		16.0-17.0	15.02

2.4 Proses Pengolahan Kopi

Teknologi budidaya dan pengolahan kopi meliputi pemilihan bahan tanam kopi unggul, pemeliharaan, pemangkasan tanaman dan pemberian penaung, pengendalian hama dan gulma, pemupukan yang seimbang, pemanenan, serta pengolahan kopi pasca panen. Pengolahan kopi sangat berperan penting dalam menentukan kualitas dan cita rasa kopi (Rahardjo, 2012).



Gambar 2.2 Proses pengolahan kopi kering (kiri) dan basah (kanan) (Permentan, 2012)

Secara garis besar dan cara kerjanya, proses pengolahan kopi ada dua jenis yaitu pengolahan secara kering dan basah. Perbedaannya dari keduanya adalah pada proses basah terdapat fermentasi sedangkan proses kering tidak. 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, 2012).

Kualitas kopi sangat dipengaruhi oleh proses pengolahan biji kopi pasca panen. Untuk menjamin kualitas yang terjaga pemerintah mengeluarkan standar mutu untuk kopi. Standar mutu diperlukan sebagai tolok ukur dalam pengawasan mutu dan

merupakan perangkat pemasaran dalam menghadapi klaim dari konsumen serta untuk 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. Persyaratan umum mutu biji kopi dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Syarat mutu umum biji kopi (Permentan, 2012)

No	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
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

Pengeringan adalah proses pengeluaran air dari suatu bahan pertanian menuju kadar air kesetimbangan dengan udara sekeliling atau pada tingkat kadar air dimana mutu bahan pertanian dapat dicegah dari serangan jamur, enzim dan aktifitas serangga (Prastowo, 2010). Pengeringan buah kopi dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu :

a. Pengeringan Alami

Pengeringan alami yaitu pengeringan dengan menggunakan sinar matahari. Pengeringan ini sangat sederhana karena tidak memerlukan peralatan dan biaya yang besar tetapi memerlukan tempat pengeringan yang luas dan waktu pengeringan yang lama. Pengeringan biasanya dilakukan di daerah yang bersih, kering dan permukaan lantai yang rata, dapat berupa lantai plester semen atau tanah yang telah diratakan dan dibersihkan. Lamanya proses pengeringan tergantung pada cuaca, ukuran buah kopi, tingkat kematangan dan kadar air dalam buah kopi (Ridwansyah, 2003).

Cara penjemuran kopi yang baik adalah dihamparkan di atas lantai dengan ketebalan maksimum 1,5 cm atau sekitar 2 lapisan. Setiap 1-2 jam hamparan kopi di bolak-balik dengan

menggunakan alat menyerupai garuh atau kayu sehingga keringnya merata. Bila matahari terik penjemuran biasanya berlangsung selama 10-14 hari namun bila mendung biasanya berlangsung 3 minggu (Najiyati dan Danarti, 2004).

Gambar 2.3 Pengeringan kopi

b. Pengeringan Buatan (Artificial Drying)

Pengeringan secara buatan biasanya dilakukan bila keadaan cuaca cenderung mendung. Pengeringan buatan memerlukan alat pengering yang hanya memerlukan waktu sekitar 18 jam tergantung jenis alatnya. Pengeringan ini dilakukan melalui dua tahap. Tahap pertama, pemanasan pada suhu 65-100°C untuk menurunkan kadar air dari 54% menjadi 30%. Tahap kedua pemanasan pada suhu 50-60°C untuk menurunkan kadar air menjadi 8-10% (Najiyati dan Danarti, 2004).

c. Pengeringan Kombinasi Alami dan Buatan

Pengeringan ini dilakukan dengan cara menjemur kopi di terik matahari hingga kadar air mencapai 30%. Kemudian kopi dikeringkan lagi secara buatan sampai kadar air mencapai 8-10%. Alat pengering yang digunakan ialah mesin pengering otomatis ataupun dengan rumah (tungku) pengering. Prinsip kerja kedua alat hampir sama yaitu pemanasan kopi dengan uap/udara di dalam ruang tertutup (Najiyati dan Danarti, 2004).

2.5 Syarat tumbuh penanaman kopi

Kopi di Indonesia saat ini umumnya dapat tumbuh baik pada ketinggian tempat di atas 700 m di atas permukaan laut (mdpl). Kopi arabika baik tumbuh dengan cita rasa yang bermutu pada ketinggian di atas 1000 mdpl. Namun demikian, lahan pertanaman kopi yang tersedia di Indonesia sampai saat ini sebagian besar berada di ketinggian antara 700 sampai 900 mdpl. Mungkin hal ini yang menyebabkan mengapa sebagian besar (sekitar 95%) jenis kopi di Indonesia saat ini adalah kopi robusta (Prastowo, 2010).

2.5.1 Persyaratan Iklim

Persyaratan kondisi iklim dan tanah optimal untuk tanaman kopi selengkapnya tercantum pada Tabel berikut.

Tabel 2.3 Persyaratan kondisi iklim dan tanah optimal tanaman kopi (ICO, 2014)

Syarat Tumbuh	Kopi Arabika	Kopi Robusta
Tumbuh di ketinggian (mdpl)	1000-2000	400-800
Temperatur optimal (^{0}C)	15-24	24-30
Curah hujan optimal (mm)	1500-2000	2000-4000

2.5.2 Pengaruh Angin

Pohon kopi tidak tahan terhadap goncangan angin kencang, terlebih pada musim kemarau karena angin akan mempertinggi penguapan air pada permukaan tanah perkebunan. Selain mempertinggi penguapan, angin dapat juga mematahkan dan merebahkan pohon pelindung yang tinggi, sehingga merusak tanaman di bawahnya (rumahkopi, 2012).

2.5.3 Tanah

Sehubungan dengan tanah, yang penting untuk dipelajari terutama sifat fisik tanah dan sifat kimia tanah. Berikut penjelasan mengenai sifat fisik tanah dan sifat kimia tanah :

1.Sifat fisik tanah untuk penanaman kopi

Sifat fisik tanah meliputi tekstur, struktur, air dan udara di dalam tanah. Tanah yang dibutuhkan untuk tanaman kopi berbeda-beda menurut keadaan dari mana asal tanaman itu. Pada umumnya

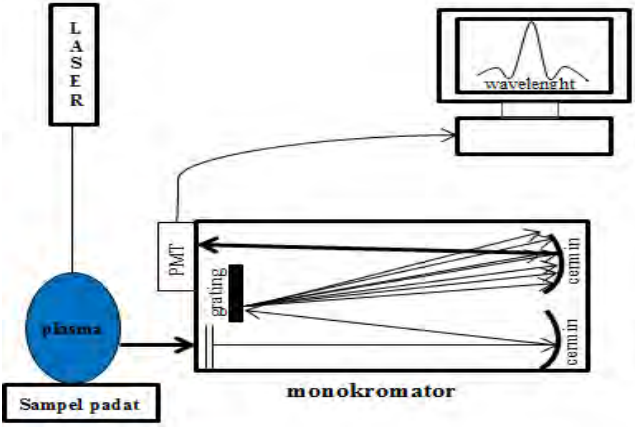
tanaman kopi menghendaki tanah yang lapisan atasnya dalam, gembur, subur, banyak mengandung humus, dan permeable, atau dengan kata lain tekstur tanah harus baik.

2. Sifat kimia tanah untuk penanaman kopi

Tanaman kopi menghendaki reaksi yang agak asam dengan pH 5,5- 6,5 (rumahkopi, 2012).

2.6 *Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)*

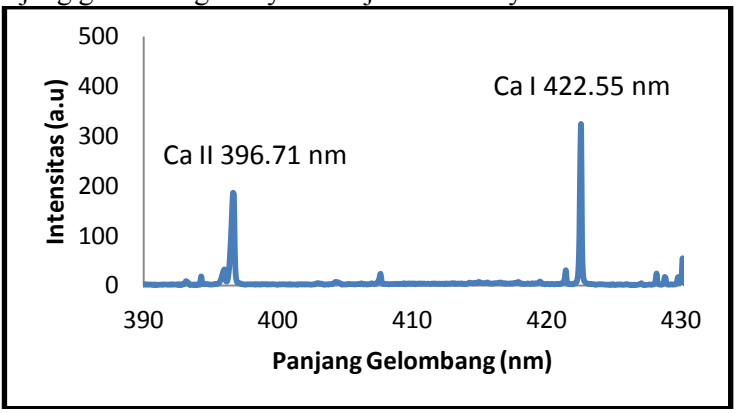
LIBS adalah singkatan dari *Laser Induced Breakdown Spectroscopy* yang merupakan peralatan spektroskopi emisi atomik yang menggunakan laser sebagai energi ablasi dan dapat digunakan untuk menganalisis secara kualitatif dan kuantitatif (Cremers, 2013). Laser difokuskan ke permukaan sampel melalui lensa yang mana sebagian sampel akan terablasikan dan terbentuk plasma seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Susunan peralatan LIBS (Utomo, 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 adiabatis. Dalam waktu yang sangat singkat atom-atom yang tereksitasi kembali ke keadaan awal *(ground state)* sambil memancarkan emisi foton dengan panjang gelombang yang sesuai dengan jenis

atomnya (Utomo, 2014). Selanjutnya emisi foton ditangkap detektor yang kemudian oleh spektrometer dihasilkan spektrum intensitas emisi fungsi panjang gelombang seperti pada Gambar 2.5. Intensitas menyatakan konsentrasi unsur dalam bahan dan panjang gelombang menyatakan jenis unsurnya.



Gambar 2.5 Grafik intensitas fungsi panjang gelombang

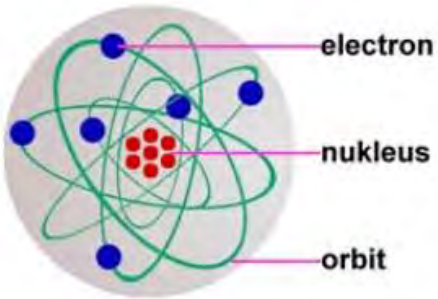
Gambar 2.5 merupakan spektrum dari sampel yang mengandung unsur Ca. Kualitas hasil spektrum tergantung pada keadaan proses pembentukan plasma dan proses pendeteksiannya yang mana dipengaruhi oleh faktor jenis laser, tekanan dan jenis gas penyangga, dan keadaan fisik dari sampel, yang mana akan diuraikan pada sub-Bab berikut ini (Suyanto, 2013).

2.6.1 LASER

Laser merupakan sebuah alat yang bisa mengeluarkan cahaya. Laser sendiri merupakan singkatan dari ***L****ight* ***A****mplification by* ***S****timulated* ***E****mission of* ***R****adiation*, yang artinya "cahaya yang diperkuat oleh pancaran radiasi yang terstimulasi. Jadi sinar laser dihasilkan dari sumber pancaran radiasi". Laser merupakan cahaya yang monokromatis (satu panjang gelombang yan spesifik), koheren (pada frekuensi yang sama) dan menuju satu arah yang sama sehingga cahayanya menjadi kuat (Svelto, 2010).

Prinsip kerja laser sudah diramalkan jauh hari sebelum dikembangkannya mekanika kuantum. Pada tahun 1917, Albert Einstein mempostulatkan pancaran imbas pada peristiwa radiasi agar dapat menjelaskan kesetimbangan termal suatu gas yang sedang menyerap dan memancarkan radiasi. Menurut Einstein, ada 3 proses yang terlibat dalam kesetimbangan itu, yaitu : absorpsi, emisi spontan dan emisi terstimulasi.

Sebuah atom terdiri dari inti atom yang disebut nukleus (berisi proton dan neutron), dan awan elektron seperti pada Gambar 2.6. Elektron-elektron ini selalu berputar mengelilingi inti atom pada orbit-orbit tertentu, sesuai dengan tingkat energinya. Orbit elektron yang memiliki tingkat energi paling rendah adalah yang paling dekat dengan inti. Jadi, semakin jauh elektron dari inti, semakin tinggi pula tingkat energinya. Ini artinya, kalau kita memberikan energi pada atom (misalnya dalam bentuk energi panas, energi listrik, atau energi cahaya) maka elektron yang berada di tingkat energi dasar *(ground-state energy level)* dapat tereksitasi (pindah) ke orbit yang tingkat energinya lebih tinggi. Proses ini disebut absorpsi.

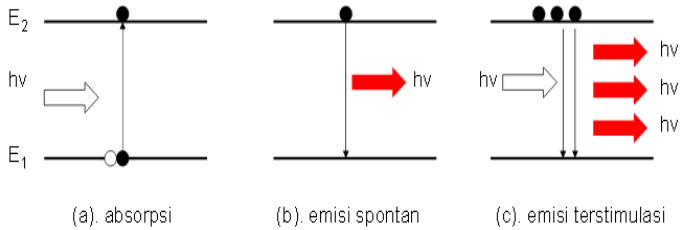


Gambar 2.6 Ilustrasi sebuah atom (Surya, Y., 2016)

Elektron yang sudah pindah ke tingkat energi yang lebih tinggi ini *(excited electron)* berada dalam keadaan tidak stabil. Elektron ini selalu berusaha untuk kembali ke keadaan awalnya

dengan cara melepaskan kelebihan energi tersebut. Energi yang dilepaskan berbentuk foton (energi cahaya) yang memiliki panjang gelombang tertentu (warna tertentu) sesuai dengan tingkat energinya. Proses ini disebut emisi spontan.

Ketika sejumlah elektron dalam atom menerima stimulan/energi dari luar, dan keseluruhan elektron berada dalam kondisi inversi populasi, terjadilah pelepasan banyak energi dalam suatu waktu. Proses ini yang disebut pancaran terstimulasi. Pada teknologi laser, cahaya yang dihasilkan mempunyai karakteristik tersendiri : monokromatik (satu panjang gelombang yang spesifik), koheren (pada frekuensi yang sama), dan menuju satu arah yang sama sehingga cahayanya menjadi sangat kuat, terkonsentrasi, dan terkoordinir dengan baik.



Gambar 2.7 Absorpsi, emisi spontan dan emisi terstimulasi (Fisika, Unpad., 2009)

2.6.2 Laser Nd : YAG

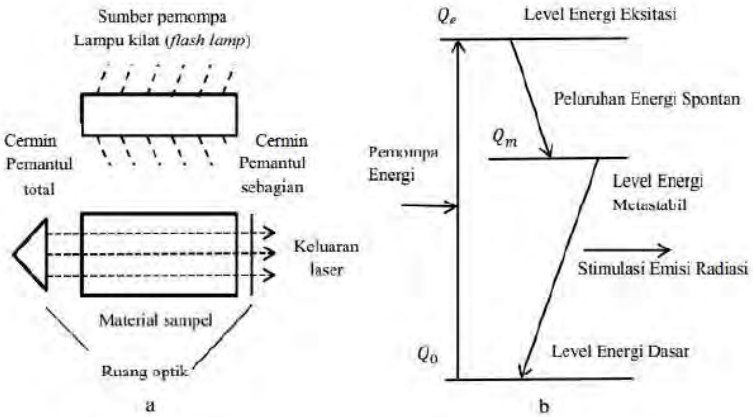
Secara umum suatu divais laser terdiri dari :

1.Media penguat berkas cahaya *(gain medium)* merupakan suatu bahan yang mempunyai sifat dapat meningkatkan intensitas cahaya dengan cara emisi terstimulasi. Bahan komponen penguat dapat berupa zat padat, cair/dye, gas, semikonduktor.

2.Sumber energi pemompa (*pumping source*) adalah suatu sumber yang digunakan untuk proses memasukkan energi sebagai syarat untuk terjadinya suatu berkas laser. Energi yang dipompakan dapat berupa arus listrik atau foton.

3.Resonator optik (*optical resonator*) secara sederhana terdiri dari susunan cermin yang dipasang berhadapan sehingga berkas cahaya dapat bergerak bolak balik. Susunan cermin terdiri dari

cermin pemantul total dan cermin pemantul sebagian. Cermin pemantul sebagian dapat berfungsi sebagai jalur keluar berkas laser. Berkas cahaya yang melewati media penguat akan bergerak bolak-balik, dan melewati media penguat berkali kali. Dengan demikian cahaya akan mengalami penguatan daya beberapa kali lipat, setelah mengalami penguatan daya, cahaya akan keluar melewati cermin pemantul sebagian sebagai berkas laser.



Gambar 2.8 Diagram (a) kerja laser zat padat (Nd:YAG) (b) tiga tingkat energi laser (Arianti, 2014)

Gambar 2.8 (a) dan (b) adalah diagram kerja laser dengan menggunakan medium lasing zat padat Nd-YAG dengan proses sebagai berikut : elektron-elektron dalam atom di material lasing secara normal berada dalam keadaan dasar di tingkat energi *ground state* Q_0. Ketika energi cahaya dari *flash lamp* ditambahkan (dipompakan) ke atom-atom tersebut maka elektron-elektronnya tereksitasi ke level energi yang lebih tinggi Qe *(excited energi level)*. Setelah elektron-elektron berada dalam level Qe, peluruhan akan terjadi secara spontan menuju level Qm. Karena terjadinya spontan maka antara level Qm dan level Qo terjadi *population invertion*. Hal ini terjadi dikarenakan jumlah elektron dalam level Qm lebih banyak dibandingkan yang ada pada level Qo. Elektron-elektron dalam level Qm mempunyai

kondisi yang tidak stabil dan hanya dalam waktu yang sangat singkat (orde ns) kemudian meluruh lagi ke tingkat energi lebih rendah Qo. Emisi elektron terjadi dengan dua cara, yaitu :

1. Emisi spontan merupakan peluruhan elektron yang secara langsung meluruh ke level energi lebih rendah (di tingkat energi metastabil Qm) dengan melepaskan atau mengemisikan energi dalam bentuk foton yang memancar ke segala arah.
2. Emisi terangsang *(stimulated)*, dimana sebagian foton dari hasil peluruhan spontan dipantulkan bolak balik diantara dua cermin dan melalui material lasing serta menumbuk elektron-elektron di tingkat energi metastabil dan menyebabkan elektron-elektron tersebut kembali ke *ground state*.

Transisi elektron-elektron ke *ground state* ini akan melepaskan energi dalam bentuk foton yang mempunyai fase, panjang gelombang, dan arah yang sama dengan foton penumbuk. Jika arah foton ini sejajar dengan sumbu *optical cavity*, maka foton akan dipantulkan bolak balik oleh cermin pemantul sempurna dan cermin pemantul sebagian yang berada di dalam *optical cavity* dan melalui material lasing. Dengan cara demikian energi foton diperkuat terus menerus sampai cukup untuk melewati cermin pemantul sebagian dan terbentuklah sinar laser.

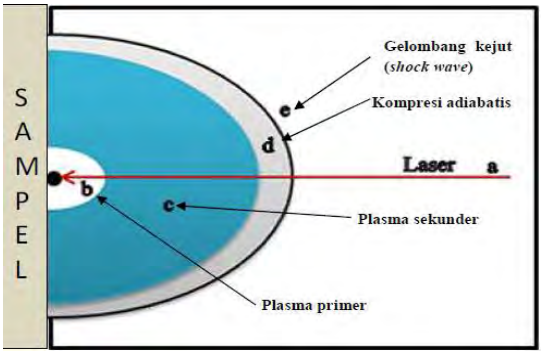
Pengoperasian laser dapat dilakukan dengan dua cara yaitu *Q-switch pulse* dan *free running (normal mode)*. *Q-switch pulse* adalah suatu metode yang digunakan untuk membuat laser pulsa dalam waktu yang sangat pendek (µs sampai ns). Hal ini dapat dicapai dengan mengganti cermin pemantul sempurna dengan cermin prisma. *Q-switch* terjadi jika prisma diputar sesaat dan memantulkan cahaya pada titik tertentu dengan energi cukup melewati cermin pantul sebagian, terjadilah laser pulsa. Atau juga dapat menggunakan komponen padat yang mempunyai sifat optik elektrik *(electro-optical device* seperti *pocket cell)*. Pada saat komponen ini diberi tegangan, maka komponen menjadi transparan yang mana dapat meneruskan atau mengarahkan foton-foton yang ada di *cavity* ke cermin dan menyebabkan *cavity* menjadi sempurna. Kesempurnaan ini menyebabkan elektron-

elektron bereksitasi ke level energi yang lebih tinggi dan mengemisikan foton serta menghasilkan pulsa laser dengan daya puncak yang sangat tinggi dan waktu sangat sempit (ns) (Arianti. 2014). *Free running (normal mode)* merupakan suatu metode yang biasa terjadi seperti pada proses terjadinya laser yang telah dijelaskan di atas. Namun *free running* memiliki pulsa yang lebih lebar dan energi yang dihasilkan juga lebih kecil dibandingkan dengan *Q-switch pulse*.

Dalam penelitian ini laser yang akan digunakan adalah laser Nd:YAG sebagai sumber energi ablasi dengan panjang gelombang 1.064 nm dan lebar pulsa 7ns serta energi maksimum laser 200 mJ.

2.6.3 Interaksi laser dengan bahan

Bila laser difokuskan ke permukaan sampel padat, maka sebagian energi laser diserap oleh bahan untuk menaikkan suhunya sehingga ikatan-ikatan atomnya lepas. Sebagian energi lainnya digunakan untuk memantulkan atau menggerakan atom-atom tersebut dengan kecepatan yang sangat tinggi. Gerakan atom-atom ini akan melakukan kompresi adiabatis dengan gas disekeliling sampel hingga sampai pada tekanan tertentu dan terjadi gelombang kejut *(shock wave)* yang energinya digunakan untuk mengeksitasikan elektron-elektron dalam atom ke tingkat energi yang lebih tinggi. Dalam waktu yang sangat singkat, elektron-elektron ini akan kembali ke *ground state* sambil memancarkan emisi dan terbentuklah plasma seperti Gambar 2.9.



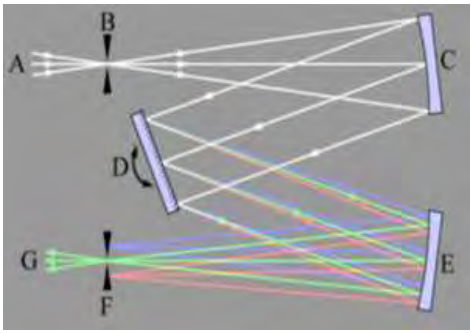
Gambar 2.9 Proses Pembentukan Plasma (Arianti. 2014)

Pada Gambar 2.9 menunjukkan proses pembentukan plasma. Terlihat pada gambar bahwa terdapat dua daerah yaitu : daerah b tepat di permukaan sampel yang disebut plasma primer. Plasma ini mempunyai kerapatan partikel dan suhu yang sangat tinggi dan menghasilkan spektrum emisi kontinu. Daerah c merupakan pengembangan daerah pertama yang disebut plasma sekunder. Ruang lingkup plasma sekunder lebih luas dan kerapatan partikel menjadi rendah sehingga plasma sekunder mampu menghasilkan spektrum emisi yang tajam. Spektrum ini sesuai dengan emisi foton yang dipancarkan oleh elektron-elektron yang bertransisi ke *ground state* dalam atom tertentu. Emisi ini akan menghasilkan panjang gelombang tertentu sesuai dengan jenis unsurnya, sehingga dapat digunakan untuk identifikasi unsur.

2.6.4 Spektrometer

Spektrometer merupakan peralatan yang terdiri dari monokromator dan *software*. Monokromator sangat penting dalam spektroskopi karena karakteristik optik unsur ditentukan oleh panjang gelombang dan kadar unsur ditentukan dari intensitasnya. Monokromator yang dipakai pada penelitian ini tipe HR 2500+ dengan spesifikasi : rentang panjang gelombang 200-980 nm, resolusi 0,1 nm (FWHM), 7 detektor CCD dengan kombinasi 14.336 Mega pixels. Monokromator merupakan suatu instrumen optik yang berfungsi sebagai penyeleksi panjang

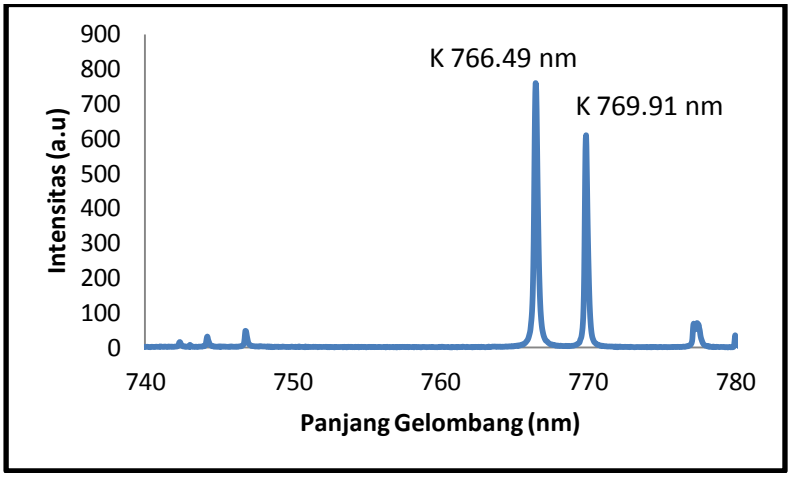
gelombang tertentu (monokromatik) dari cahaya polikromatik seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Diagram monokromator (Wikipedia, 2016)

Gambar 2.10 bagian-bagian utama monokromator antara lain slit atau celah sempit (B, F), cermin (C, E), *grating* atau pemisah cahaya (D) dan detektor (G). Sumber cahaya polikromatik (A) masuk ke slit (B) dan besarnya energi cahaya yang dideteksi oleh monokromator tergantung besarnya intensitas cahaya yang masuk pada luasan slit dan juga sudut datangnya. Slit berada pada titik fokus cermin (C) agar menghasilkan pantulan cahaya sejajar ke prisma atau *grating* (D). Cahaya ini akan didispersikan oleh prisma atau didifraksikan oleh *grating* menjadi beberapa warna dan diarahkan ke cermin (E). Cahaya terdispersi (seperti pelangi) selanjutnya oleh cermin (E) difokuskan ke slit keluaran (F), sehingga pada permukaan slit terdapat titik-titik bayangan yang terpisah dari berbagai warna. Dengan memutar *grating* atau prisma, maka titik-titik bayangan warna bergerak relatif terhadap slit keluaran. Sehingga dapat memilih panjang gelombang tertentu yang keluar dari slit keluaran menuju detektor untuk diproses lebih lanjut. *Software* berfungsi untuk menganalisis atau mengidentifikasi unsur. *Software* yang dipakai adalah OOILIBS dan addLIBS. *Software* OOILIBS digunakan untuk mensinkronisasi antara waktu terbentuknya plasma dengan waktu pendeteksian. Waktu ini disebut *delay time detection* (waktu tunggu deteksi). Sedangkan *software* addLIBS digunakan untuk menganalisis spektrum dari plasma yang terdeteksi. Dalam

software ini akan menampilkan intensitas sebagai fungsi panjang gelombang. Panjang gelombang menyatakan jenis unsurnya sedangkan intensitas merupakan jumlah unsurnya. Spektrum yang dihasilkan merupakan fungsi intensitas emisi atom terhadap panjang gelombang seperti pada Gambar 2.11.



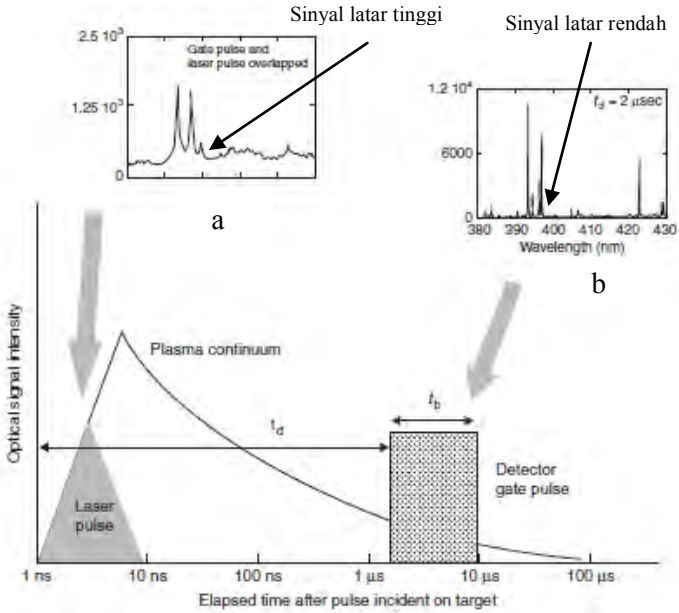
Gambar 2.11 Contoh spektrum yang dihasilkan oleh *software* Add LIBS

Hasil yang ditampilkan oleh spektrometer bergantung pada waktu fiber untu menangkap plasma. Waktu yang dimaksud adalah waktu dimana sekian mikrosekon setelah plasma terbentuk, jendela fiber akan terbuka untuk menangkap plasma tersebut. Karena adanya sifat plasma yang berbeda antara primer dan sekunder dan masing-masing memberikan dampak yang berbeda pada hasil yang ditampilkan maka waktu deteksi diatur sedemikian rupa agar hasil yang diperoleh optimum.

2.6.5 Waktu Tunggu Deteksi (*Delay Time Detection*)

Sebelum melakukan analisis kualitatif maupun kuantitatif suatu bahan, maka perlu dicari keadaan optimum suatu eksperimen. Pada teknik LIBS ini yang perlu diperhatikan

keadaan optimumnya adalah parameter energi laser dan waktu tunggu deteksi. Untuk menentukan keadaan optimum dari waktu tunggu deteksi dengan cara melihat nilai sinyal *background*, perbandingan sinyal puncak emisi terhadap sinyal *background* (S/B) dan FWHM fungsi waktu tunggu deteksi seperti terlihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Waktu deteksi dan hasil spektra (a) sinyal latar plasma tinggi (b) sinyal latar plasma rendah (Cremers, 2013)

Gambar 2.12 menunjukkan skema perjalanan waktu umur plasma yang dihasilkan oleh laser pulsa tunggal. Hasil yang ditampilkan terlihat jelas adanya spektrum yang dihasilkan dengan bertambahnya waktu untuk membuka jendela fiber.

Pada Gambar 2.12a terlihat bahwa sinyal latar *(background)* yang dihasilkan tinggi. Hal ini disebabkan karena kerapatan elektron dan suhu yang sangat tinggi dalam plasma (khususnya

plasma primer). Sinyal latar *(background)* muncul akibat terjadinya proses rekombinasi elektron-ion dan proses *Bremsstrahlung*. Proses rekombinasi elektron-ion merupakan proses dimana kerapatan plasma menyebabkan terjadinya rekombinasi antara ion-ion dengan elektron-elektron dan melepaskan foton dengan emisi kontinu. Emisi kontinu ini menyebabkan intensitas spektrum terangkat atau sinyal latar tinggi. Selanjutnya pada proses *Bremsstrahlung*, kerapatan plasma tinggi yang akan menyebabkan elektron-elektron bertumbukan dengan ion-ion dan melepaskan sebagian energi dalam bentuk foton dengan emisi kontinu atau panjang gelombang kontinu.

Proses *Bremsstrahlung* dan rekombinasi berlangsung sangat cepat (~10 ns). Untuk itu pendeteksian emisi karakteristik atom dilakukan setelah 1 μs dari ablasi laser dan waktu inilah yang disebut waktu tunggu deteksi *(delay time detection)*. Pada waktu tunggu deteksi setelah 1 μs, maka intensitas *background* dari spektra akan turun bahkan hilang seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12b.

Waktu tunggu deteksi *(delay time detection)* merupakan waktu yang digunakan untuk menunda pendeteksian plasma. Nilai waktu tunggu deteksi *(delay time detection)* ini bervariasi tergantung jenis unsurnya, tetapi hampir semua unsur memiliki waktu emisi lebih dari 1 μs untuk LIBS.

2.7 NIST (National Institute of Standards and Technology)

National Institute of Standards and Technology disingkat NIST (Badan Nasional Standar dan Teknologi Amerika Serikat) adalah sebuah badan non-regulator dari bagian Administrasi Teknologi dari Departemen Perdagangan Amerika Serikat. Misi dari badan ini adalah untuk membuat dan mendorong pengukuran, standar, dan teknologi untuk meningkatkan produktivitas, mendukung perdagangan, dan memperbaiki kualitas hidup semua orang. Sebagai bagian dari misi tersebut, ilmuwan-ilmuwan dan insinyur-insinyur NIST secara terus menerus mengembangkan ilmu pengukuran, yang memungkinkan

rekayasa dan manufakturing tepat yang diperlukan oleh teknologi maju saat ini.

Di dalam laboratorium pengukuran fisis *(Physical Measurement Laboratory)* terdapat NIST Atomic Spectra Database. Data spektroskopi dapat dipilih dan ditampilkan sesuai dengan panjang gelombang atau tingkat energi dengan memilih salah satu opsi berikut:

1. Spektral Garis : garis spektral dan tingkat energi yang terkait ditampilkan dalam panjang gelombang dengan semua spektrum yang dipilih bercampur atau dalam beberapa orde *(multiplet)*. Probabilitas transisi atom pada garis spektral juga ditampilkan jika tersedia.
2. Tingkat energi : tingkat energi dari atom tertentu atau ion ditampilkan dalam urutan energi di atas keadaan level energi dasar *(ground state)*.
3. Level energi dasar *(ground state)* dan energi ionisasi : level energi dasar *(ground state)* dan ionisasi energi atom netral dan atom ion.

Dalam penelitian ini digunakan spektral garis *(Lines)* karena dengan ini dapat diketahui atom apa saja yang terdapat pada panjang gelombang tertentu di spektrum yang dipilih. (http://www.nist.gov/pml/data/asd.cfm)

2.8 Metode Analisis Diskriminan

Analisis diskriminan adalah salah satu teknik statistik yang bisa digunakan pada hubungan dependensi (hubungan antar variabel dimana sudah bisa dibedakan mana variabel respon dan mana variabel penjelas). Adapun tujuan dari analisis diskriminan antara lain (Hening, 2016):

- Mengetahui perbedaan yang jelas antar grup pada variabel dependen.
- Jika ada perbedaan, variabel independen manakah pada fungsi diskriminan yang membuat perbedaan tersebut.
- Membuat fungsi atau model diskriminan (yang mirip dengan persamaan regresi).

- Melakukan klasifikasi terhadap obyek ke dalam kelompok (grup).

Analisis diskriminan merupakan teknik multivariate yang termasuk *dependence method*, yakni adanya variabel dependen dan variabel independen. Dengan demikian ada variabel yang hasilnya tergantung dari data variabel independen. Dalam analisis diskriminan variabel dependen hanya satu, sedangkan variabel independen banyak *(multiple)*. Misalnya varibel dependen adalah pilihan merek mobil : Kijang, Kuda dan Panther. Variabel independennya adalah rating setiap merek pada sejumlah atribut yang memakai skala 1 sampai 7. Analisis diskriminan merupakan teknik yang akurat untuk memprediksi sesuatu termasuk dalam kategori apa, dengan catatan data-data yang dilibatkan terjamin akurasinya.

Model analisis diskriminan adalah sebuah persamaan yang menunjukkan suatu kombinasi linier dari berbagai variabel independen yaitu :

$$D = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \ldots + b_k X_k \qquad (2.1)$$

Dengan :

D = skor diskriminan

b = koefisien diskriminasi atau bobot

X = *predictor* atau *variabel independent*

Yang diestimasi adalah koefisien ‘b’, sehingga nilai ‘D’ setiap grup sedapat mungkin berbeda. Ini terjadi pada saat rasio jumlah kuadrat antargrup *(between-group sum of squares)* terhadap jumlah kuadrat dalam grup *(within-group sum of square)* untuk skor diskriminan mencapai maksimum. Berdasarkan nilai D itulah keanggotaan sesuatu diprediksi (Umam, 2016).

Beberapa langkah yang merupakan proses dasar dalam analisis diskriminan antara lain :

1. Memilah variabel-variabel menjadi variabel terikat (*Dependent*) dan variabel bebas (*Independent*).
2. Menentukan metode untuk membuat fungsi diskriminan, yaitu :
   - *Simultaneous Estimation* : semua variabel dimasukkan secara bersama-sama lalu dilakukan proses diskriminan.
   - *Step-Wise Estimation* : variabel dimasukkan satu per satu ke dalam model diskriminan.
3. Menguji signifikansi fungsi diskriminan yang terbentuk, yaitu :
   - Menghitung nilai uji F, menghitung nilai homogenitas kovarians dalam kelompok dengan Box's M.
   - Mencari Eigenvalue untuk setiap *discriminant function*.
   - Mencari nilai *canonical discriminant function coefficients* untuk setiap fungsi.
   - Mencari Nilai Signifikansi dari *discriminant function* (Wilks' lambda)
4. Menguji ketepatan klasifikasi dari fungsi diskriminan (secara individual dengan *casewise diagnotics*).
5. Melakukan interpretasi fungsi diskriminan.
6. Melakukan uji validasi fungsi diskriminan.

2.9 Perbandingan Intensitas *(Intensity Ratio)*

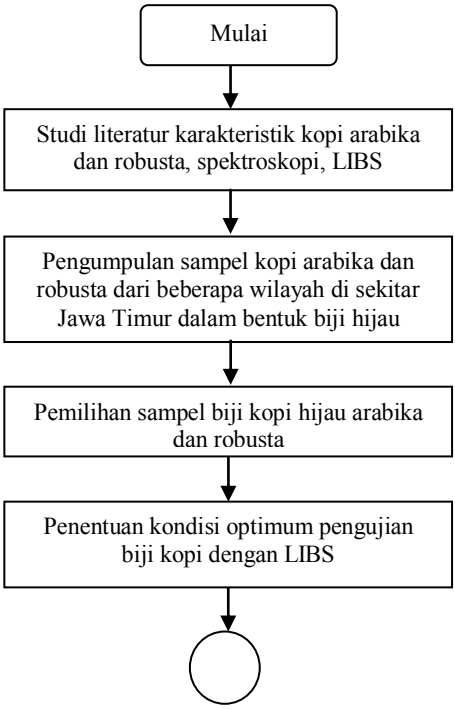
Spektrum dari hidrogen dan oksigen yang ditemukan erat kaitannya dengan kadar air dalam sampel biji kopi hijau. Di dalam studi tertentu, emisi dari atom oksigen digunakan sebagai indikator air terutama karena proporsi oksigen jauh lebih tinggi di dalam air dari pada molekul organik seperti protein dan lemak. Sementara itu, atom hidrogen yang melimpah di air dan molekul organik dan sebagai konsekuensi tidak mewakili adanya konten air dalam sampel. Sinyal LIBS lemah ketika kadar air lebih tinggi, tetapi pada

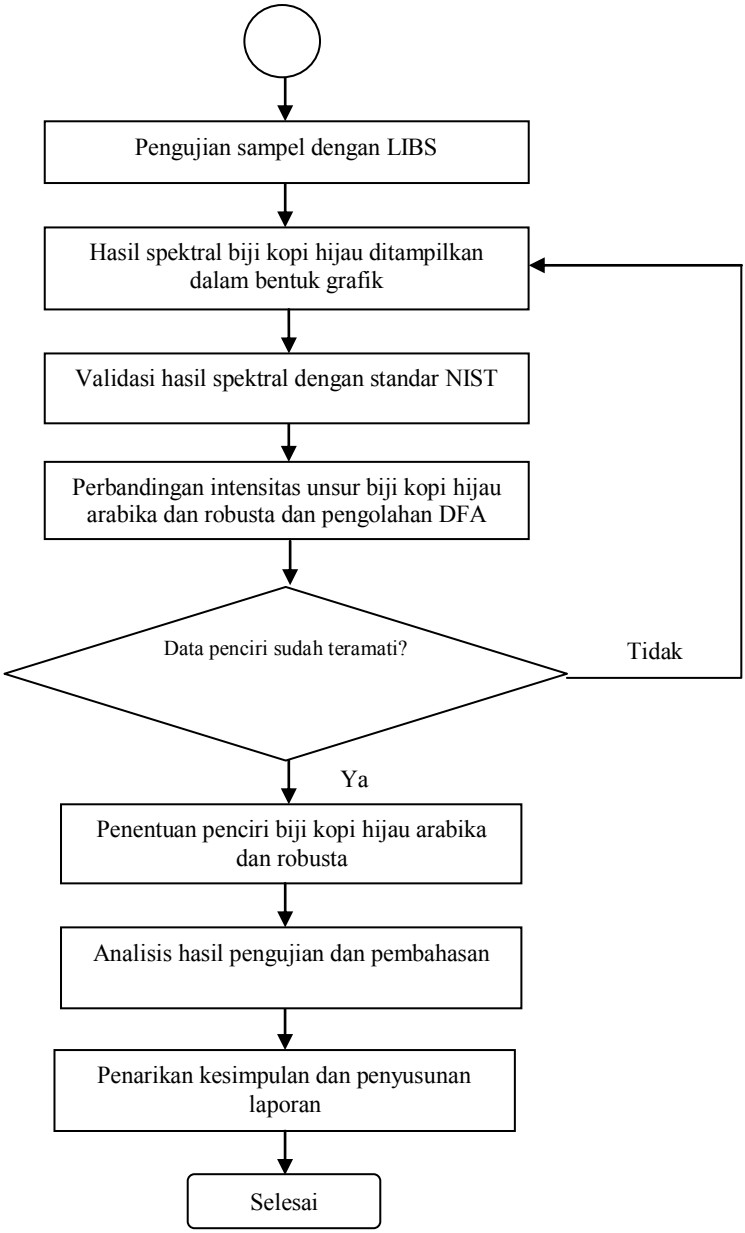
saat yang sama, emisi oksigen lebih besar (Liu, Y., 2012). Oleh karena itu, perbandingan intensitas oksigen dengan unsur Ca dapat dijadikan indikator tingkat kadar air. Perbandingannya dengan unsur Ca karena unsur Ca merupakan unsur pokok pada biji kopi hijau. Unsur Ca yg digunakan adalah Ca (I) pada panjang gelombang 422,67 nm karena memiliki probabilitas paling tinggi elektron untuk berpindah dari kulit luar ke kulit dalam dan mengemisikan panjang gelombang 422,67 nm.

Perbandingan intensitas rasio Ca (II) 396,84 nm dan Ca (I) 422,67 nm pada sampel biji kopi hijau digunakan sebagai indikasi tingkat kekerasan biji kopi. Semakin tinggi nilai rasio intensitas rasio Ca (II) 396,84 nm dan Ca (I) 422,67 nm maka tingkat kekerasan sampel semakin besar. Ketika laser Nd:YAG mengenai sampel, atom-atom netral penyusun dari sampel akan terevaporasi dari sampel dengan diikuti oleh ionisasi atom yang berada di belakang gelombang kejut *(shock front)*. Ketika gelombang tersebut berekspansi dengan kecepatan yang sangat tinggi, ionisasi atom yang terablasi akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan adanya kenaikan temperatur di belakang gelombang kejut. Peristiwa tersebut akan menghasilkan kenaikan intensitas emisi ionik atom Ca yang siginifikan dibandingkan dengan intensitas emisi netral atom Ca. Selain itu, peristiwa ini hanya terjadi pada atom-atom yang mempunyai energi ionisasi rendah seperti atom kalsium. Intensitas emisi ionik dari atom Ca pada sampel keras *(hard sample)* lebih tinggi dibandingkan dengan emisi atom netral. Sebaliknya intensitas emisi ionik pada atom Ca pada sampel lunak *(soft sample)* cukup lemah. Hal ini terjadi karena kecepatan gelombang kejut yang dihasilkan pada sampel lunak sangat rendah. Kecepatan tersebut dipengaruhi oleh gaya repulsif pada permukaan sampel lunak (Khumaeni, 2006).

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakaan serangkaian kegiatan yang dilakukan dari awal hingga akhir untuk tercapainya tujuan tugas akhir ini. Secara garis besar metodologi penelitian yang dilakukan dapat dalam pada diagram air dibawah ini.





Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir

3.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mempelajari karakteristik kopi arabika dan robusta, prinsip dasar mengenai spektroskopi dan LIBS. Literatur yang digunakan adalah buku, jurnal penelitian ilmiah, artikel ilmiah, disertasi dan laporan tugas akhir yang membahas tentang kopi, spektroskopi dengan menggunakan LIBS.

3.2 Pengumpulan Sampel Kopi

Pengumpulan sampel kopi berupa biji hijau dengan 2 varietas yaitu kopi arabika dan robusta. Sampel biji hijau kopi berasal dari daerah Jawa Timur yaitu Prigen, Pasuruan, Malang dan Bondowoso. Sampel didapatkan dengan meminta langsung kepada produsen kopi.

Berikut spesifikasi kopi yang berasal dari 4 daerah tersebut :

1. Daerah Prigen

Buah kopi arabika dan robusta diperoleh dari kebun kopi di lereng Gunung Welirang. Buah kopi yang telah dilakukan sortasi selanjutnya langsung dijemur di atas para-para atau *stainless steel* agar buah kopi tidak terkontaminasi oleh karat. Penjemuran kopi dilakukan 1-2 minggu. Setelah itu, biji kopi kering dimasukkan ke mesin *huller* untuk melepaskan kulit buah (cangkang).

2. Daerah Pasuruan

Biji kopi arabika dan robusta diperoleh dari para petani kopi di lereng Gunung Arjuna, Kab. Pasuruan. Biji kopi yang diperoleh dari petani adalah biji kopi yang sudah dibersihkan dari kulit buah. Biji kopi selanjutnya disortir untuk menentukan tingkat kualitas kopi dan kemudian dijemur selama 1 minggu.

3. Daerah Malang

Biji kopi robusta diperoleh dari para petani kopi yang berada di wilayah Dampit. Di wilayah ini berkembang pesat

kopi robusta. Hal Ini dikarenakan Dampit memiliki ketinggian kurang dari 800 mdpl. Biji kopi yang diperoleh dari petani adalah biji kopi yang sudah dibersihkan dari kulit buah. Biji kopi selanjutnya disortir untuk menentukan tingkat kualitas kopi dan kemudian dijemur selama 1-2 minggu.

Buah kopi arabika diperoleh dari kebun kopi di lereng Gunung Kawi, Malang. Buah kopi yang dipetik dipilih yang merah dan matang saja selanjutnya dijemur di para-para atau *stainless steel*. Penjemuran kopi dilakukan 1-2 minggu.

4. Daerah Bondowoso

Buah kopi arabika dan robusta diperoleh dari kebun kopi di lereng Gunung Ijen, Bondowoso. Buah kopi yang berwarna merah diproses menggunakan mesin *huller* untuk melepaskan kulit buah. Selanjutnya biji kopi dikeringkan.

3.3 Pemilihan Sampel Biji Kopi

Setelah dilakukan pengumpulan biji kopi hijau arabika dan robusta, biji kopi arabika dan robusta tersebut disimpan dengan kondisi tertentu diantaranya tidak boleh terkena sinar matahari secara langsung, tidak boleh lembab, suhu kamar, tidak boleh ada bau asing. Hal ini dikarenakan kopi bersifat higroskopis yaitu mampu menyerap zat yang ada di lingkungan sekitarnya. Pemilihan sampel biji kopi dilakukan agar mendapatkan biji kopi terbaik untuk pengujian dengan menggunakan LIBS.

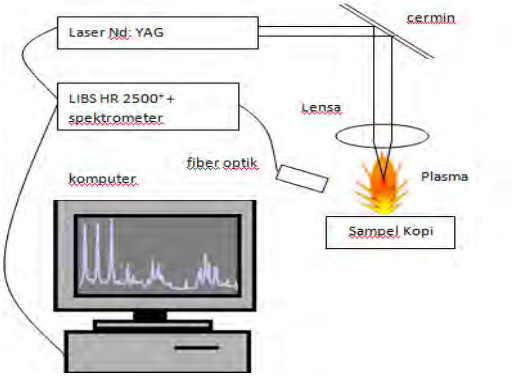
3.4 Penentuan Kondisi Optimum Pengujian Biji Kopi Dengan LIBS

Dalam analisis plasma laser pada LIBS terdapat beberapa variabel yang harus diperhatikan diantaranya waktu tunggu deteksi *(delay time detection)* dan energi laser. Karakterisasi *delay time detection* dan energi laser pada penelitian ini dilakukan untuk memperoleh kondisi optimum pengujian pada sampel organik berupa biji kopi. Kondisi

optimum akan menghasilkan sinyal latar *(background)* rendah dan sinyal intensitas emisi tinggi.

3.5 Pengujian Sampel Dengan LIBS

Susunan peralatan pengujian ditunjukkan pada Gambar 3.2. Sistem LIBS terdiri dari spektrometer *ocean optic* HR 2500+, tempat sampel, Nd:YAG laser (model CRF 200 mJ, 1.064 nm, 7ns) dan perangkat lunak OOILIBS. Pada penelitian ini, Nd:YAG laser dengan frekuensi 5 Hz, difokuskan ke sampel melalui lensa cembung dengan panjang fokus 10 cm sehingga terbentuk plasma. Emisi radiasi unsur tertentu dalam plasma dianalisis dengan spektrometer multikanal optik CCD 14.336 pixels, rentang panjang gelombang dari 200-980 nm dengan resolusi 0,1 nm. Pengambilan data dilakukan dengan akumulasi 3 dan waktu tunda deteksi (*delay time*) 1 µs serta semua eksperimen dilakukan pada tekanan udara 1 atm.



Gambar 3.2 Susunan peralatan pengujian

3.6 Hasil Spektral Biji Kopi Ditampilkan Dalam Bentuk Grafik

Spektrum emisi unsur yang terkandung dalam sampel ditampilkan dan dianalisis menggunakan perangkat lunak OOILIBS dan addLIBS. *Software* OOILIBS digunakan untuk

mensinkronisasi antara waktu terbentuknya plasma dengan *delay time detection* (waktu tunggu deteksi). *Software* addLIBS digunakan untuk menganalisis spektrum dari plasma yang terdeteksi. Dalam *software* ini akan menampilkan intensitas sebagai fungsi panjang gelombang. Panjang gelombang menyatakan jenis unsurnya sedangkan intensitas merupakan jumlah unsurnya. Spektrum yang dihasilkan merupakan fungsi intensitas emisi atom terhadap panjang gelombang. Hasil spektral biji kopi hijau arabika dan robusta akan ditampilkan dan dianalisis dalam bentuk grafik pada *software* addLIBS.

3.7 Validasi Hasil Spektral Dengan Standar NIST

Spektral biji kopi hijau yang dihasilkan kemudian dianalisis dengan menggunakan *software* addLIBS. Dengan *software* ini dapat diketahui unsur yang terkandung dalam biji kopi hijau arabika dan robusta. Unsur ini akan divalidasi dengan standar pada *atomic spectra database* pada *National Institute of Standards and Techonolgy* (NIST). Misal pada biji kopi hijau arabika dalam panjang gelombang 422,67 mengandung unsur Ca. Hasil ini akan dicocokkan dengan database pada NIST, apakah benar pada panjang gelombang tersebut mengandung unsur Ca. Semua unsur yang telah dianalisis akan divalidasi dengan database pada NIST.

3.8 Perbandingan Intensitas Unsur Biji Kopi Hijau Arabika dan Robusta dan Pengolahan dengan DFA

Hasil spektral biji kopi hijau arabika dan robusta dibandingkan. Perbandingan intensitas unsur secara langsung antara biji kopi hijau arabika dan robusta untuk mengetahui pencirinya. Intensitas dari masing-masing unsur diperoleh dengan menghitung luasan area dengan rumus integral pada tiap puncak emisi spektrum dari unsur. Apabila dari perbandingan intensitas unsur secara langsung belum diketahui pencirinya, maka akan dilakukan analisis dan

pengolahan data dengan metode DFA *(Discriminant Function Analysis)* untuk mengetahui secara lebih jelas penciri antara kedua varietas kopi tersebut.

3.9 Penentuan Penciri Biji Kopi Hijau Arabika dan Robusta

Setelah dibandingkan intensitas unsur biji kopi hijau arabika dan robusta dapat diketahui perbedaan antara kedua varietas kopi ini. Perbedaan ini yang digunakan untuk menentukan penciri dari biji kopi hijau arabika dan robusta. Dalam suatu kasus apabila terdapat biji kopi hijau yang tidak diketahui jenisnya (sembarang kopi) kemudian diuji maka akan diketahui kopi ini tergolong kopi arabika atau robusta.

3.10 Analisis Hasil Pengujian dan Pembahasan

Pada bab ini akan dipaparkan penjelasan mengenai hasil spektral biji kopi hijau arabika dan robusta. Pada bagian ini dianalisis mengenai hasil spektral biji kopi hijau arabika dan robusta, kemudian hasilnya dibandingkan dan diketahui penciri yang membedakan keduanya. Selain itu, akan dibahas lebih lanjut mengenai unsur biji kopi hijau arabika dan robusta berdasarkan daerah kebun kopi tersebut.

3.11 Penarikan Kesimpulan dan Penyusunan Laporan

Berdasarkan data-data yang telah diperoleh selama penelitian, analisis data terhadap hasil spektral biji kopi hijau arabika dan robusta dan pembahasan tentang fenomena yang terjadi selama proses penelitan tersebut maka diakhiri dengan penarikan kesimpulan sebagai jawaban atas tujuan permasalahan yang diajukan pada penelitian tugas akhir ini.

Tahap akhir dari penelitian ini adalah penyusunan laporan. Laporan akhir merupakan rekaman dan bentuk pertanggungjawaban dari berbagai kegiatan yang dilakukan selama proses penelitian kepada pihak terkait. Setelah itu hasilnya akan disampaikan baik secara tulisan atau lisan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

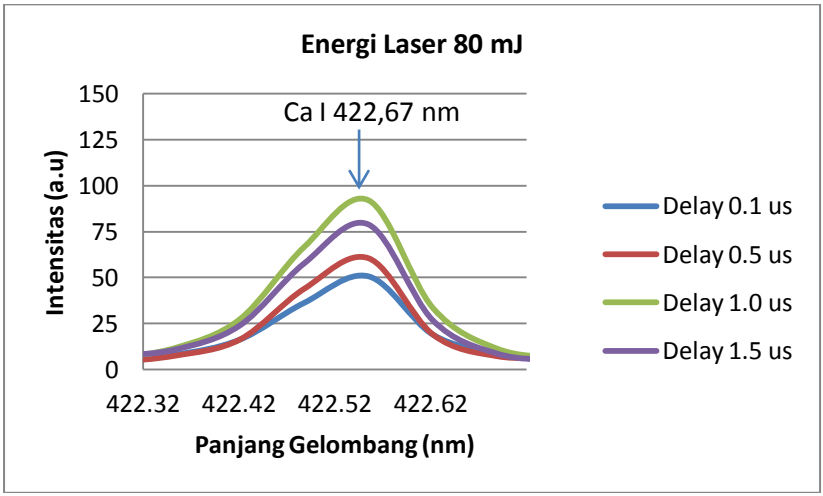
Pada bab ini akan diterangkan mengenai hasil pengujian biji kopi hijau arabika dan robusta dengan menggunakan LIBS. Hasil spektral yang dihasilkan oleh biji kopi hijau arabika dan robusta akan dianalisis dan ditentukan pencirinya. Penentuan penciri ini dapat dilakukan dengan membandingkan secara langsung hasil spektral pada kedua varietas kopi ini. Selain itu, dapat dilakukan pengolahan data lebih lanjut dengan meggunakan metode diskriminan untuk mengetahui secara lebih jelas penciri yang membedakan biji kopi arabika dan robusta.

Pada penelitian ini digunakan biji kopi hijau arabika dan robusta yang berasal dari berbagai daerah di Jawa Timur (Malang, Bondowoso, Pasuruan dan Prigen). Biji kopi hijau ini langsung diuji dengan LIBS tanpa mendapatkan perlakuan awal *(pretreatment)* terlebih dahulu. Dari hasil spektrum biji kopi hijau arabika dan robusta diharapkan dapat diketahui perbedaan antara keduanya secara kualitatif maupun kuantitatif. Sebelum membahas penciri kedua kopi tersebut, maka langkah pertama kali mencari kondisi optimum eksperimen diantaranya *delay time detection*, energi laser dan FWHM sebagai berikut.

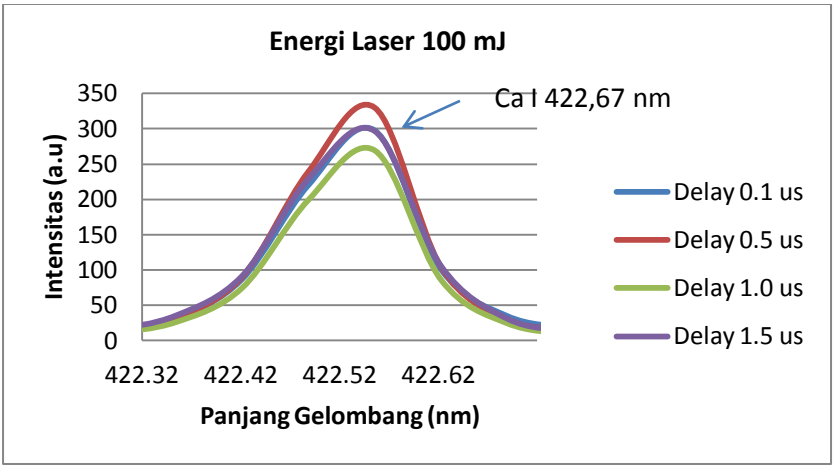
4.1 Karakterisasi *Delay Time Detection* dan Energi Laser pada LIBS

Dalam analisis plasma laser terdapat beberapa variabel yang harus diperhatikan diantaranya waktu tunggu deteksi *(delay time detection)* dan energi laser. Karakterisasi *delay time detection* dan energi laser pada penelitian ini dilakukan untuk memperoleh kondisi optimum pengujian pada sampel organik berupa biji kopi. Kondisi optimum akan menghasilkan sinyal latar *(background)* rendah dan sinyal

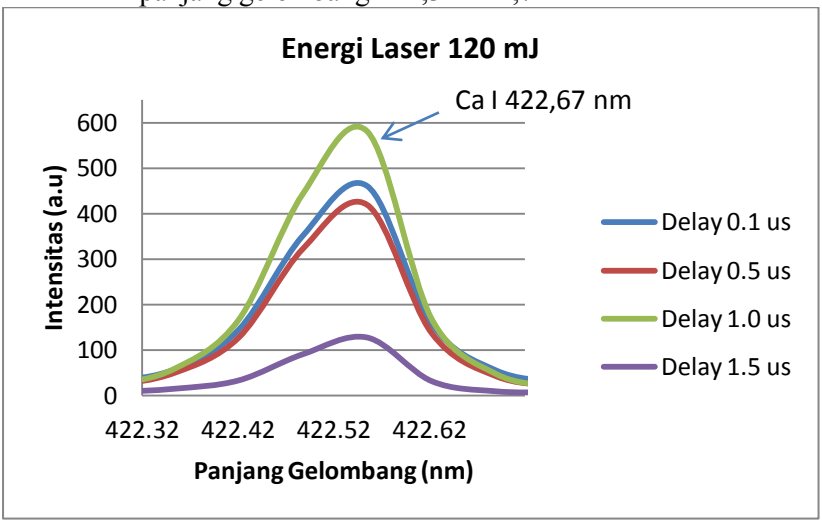
intensitas emisi tinggi. *Background* rendah menunjukkan kerapatan elektron dalam plasma rendah dan intensitas tinggi menunjukan konsentrasi elemen dalam sampel tinggi. Salah satu cara untuk mengurangi signal *background* tinggi yaitu dengan mengatur *delay time detection* yang hasilnya seperti pada Lampiran A1-A4 dan kemudian dianalisis melalui emisi unsur Ca dan diplot pada Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3. Pemilihan unsur Ca yang mana disebabkan karena unsur ini merupakan unsur utama penyusun kopi.



Gambar 4.1 Spektra biji kopi arabika dengan berbagai *delay time detection* pada energi laser 80 mJ dan pada daerah panjang gelombang 422,32-422,72 nm



Gambar 4.2 Spektra biji kopi arabika dengan berbagai *delay time detection* pada energi laser 100 mJ dan pada daerah panjang gelombang 422,32-422,72 nm



Gambar 4.3 Spektra biji kopi arabika dengan berbagai *delay time detection* pada energi laser 120 mJ dan pada daerah panjang gelombang 422,32-422,72 nm

Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3 merupakan spektrum dari emisi unsur netral Ca (I) untuk energi laser 80 mJ, 100 mJ dan 120 mJ dengan *delay time detection* 0,1 µs, 0,5 µs, 1 µs, dan 1,5 µs. Berdasarkan data pada gambar tersebut bahwa energi laser 120 mJ menghasilkan intensitas paling tinggi dibandingkan yang energi lainnya. Disisi lain, berdasarkan Lampiran A.1, untuk energi laser 80 mJ menyebabkan beberapa unsur tidak tereksitasi sehingga ada spektrum emisi yang hilang. Oleh karena itu pada penelitian karakterisasi biji kopi hijau arabika dan robusta menggunakan energi laser 120 mJ.

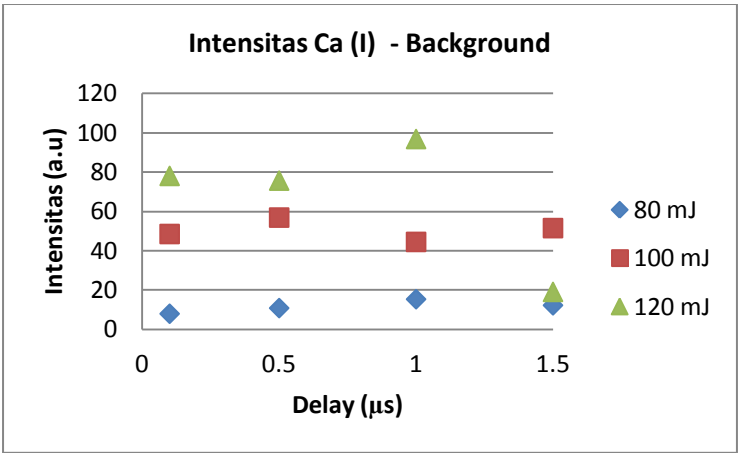
Analisis berikutnya mencari kondisi optimum *delay time detection*. Untuk itu berdasarkan data pada Gambar 4.1, 4.2 dan 4.3, selanjutnya dibuat tabel dan diplot intensitas emisi atom netral Ca (I) panjang gelombang 422,67 nm fungsi *delay time detection* untuk energi laser 80 mJ, 100 mJ, dan 120 mJ dan hasilnya ditunjukan pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.4.

Tabel 4.1 Intensitas Ca (I) dikurangi *background* pada biji hijau kopi untuk berbagai energi laser

Energi 80 mJ	Delay 0.1 µs	Delay 0.5 µs	Delay 1.0 µs	Delay 1.5 µs
Intensitas Ca (I) - Bg	7.979133	10.8551	15.3726	12.2728

Energi 100 mJ	Delay 0.1 µs	Delay 0.5 µs	Delay 1.0 µs	Delay 1.5 µs
Intensitas Ca (I) - Bg	48.5276	56.8723	44.5027	51.5195

Energi 120 mJ	Delay 0.1 µs	Delay 0.5 µs	Delay 1.0 µs	Delay 1.5 µs
Intensitas Ca (I) - Bg	78.0532	75.6733	96.8096	19.0807



Gambar 4.4 Grafik intensitas Ca (I) dikurangi intensitas background pada biji kopi hijau

Dari data Tabel 4.1 dan Gambar 4.4 terlihat bahwa *signal background* yang rendah dan spektrum yang tajam serta intensitasnya tinggi pada *delay time detection* 1,0 µs dan pada energi laser 120 mJ. Hal ini dapat dijelaskan bahwa di awal pembentukan plasma (0-0,1 µs) kerapatan partikel (elektron, atom netral, ion, dan atom-atom tereksitasi) yang sangat tinggi. Partikel-partikel tersebut bergerak dengan kecepatan yang sangat tinggi sehingga elektron-elektron bertumbukan dengan ion-ion (*Bremsstrahlung*) dan kehilangan energi yang dipancarkan sebagai foton dengan panjang gelombang kontinu (Cremers, 2013). Selain itu sebagian elektron berekombinasi (*free-bound*) dengan ion dan melepaskan energinya juga dengan panjang gelombang kontinu. Panjang gelombang ini merupakan *signal background*. Seiring dengan perjalanan waktu, volume plasma bertambah besar dan konsentrasi partikelnya sudah menurun yang sebagai akibatnya *signal background*nya menurun juga. Selain dari itu semakin bertambahnya waktu semakin banyak atom-atom mengalami proses eksitasi dan emisi yang mana

menghasilkan intensitas emisi semakin tinggi. Sehingga berdasarkan Gambar 4.4, maka waktu deteksi yang tepat untuk mendeteksi biji kopi adalah 1,0 µs.

Untuk memperkuat pemilihan *delay time detection* pada 1,0 µs ini dan energi laser 120 mJ selanjutnya dihitung nilai FWHM *(Full Width at Half Maximum)* yang mana merupakan lebar garis tengah dari spektrum. Semakin kecil nilai FWHM semakin tajam spektrumnya sehingga baik untuk memisahkan antara dua spektrum yang mempunyai nilai panjang gelombang sangat berdekatan. Berdasarkan data data di atas selanjutnya dihitung nilai FWHM pada energi laser 120 mJ yang hasilnya seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 FWHM

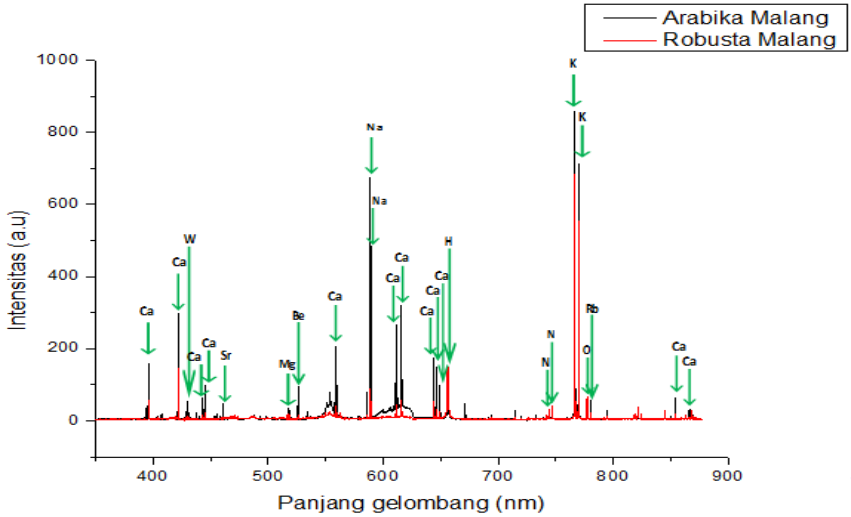
Energi	Delay (µs)	Intensitas Puncak	Spektrum (nm)	FWHM
120 mJ	0,1 µs	460,4442	422,42-422,672	0,20
120 mJ	0,5 µs	419,2222	422,42-422,673	0,21
120 mJ	1,0 µs	580,8889	422,43-422,671	0,18
120 mJ	1,5 µs	126,6664	422,35-422,679	0,34

Dari data Tabel 4.2, nilai FWHM menunjukkan bahwa *delay time detection* 1,0 µs lebih sempit dibandingkan dengan yang lainnya. Hal ini dapat diterangkan bahwa pada saat 1,0 µs kerapatan plasma rendah sehingga kemungkinan terjadinya tumbukan antar atom-atom netral atau molekul-molekul dalam plasma semakin rendah. Tumbukan ini akan menyebabkan pergeseran panjang gelombang yang mempengaruhi nilai FWHM (Cremers, 2013). Sehingga kondisi optimum eksperimen yang digunakan untuk mencari penciri antara kopi arabika dan robusta adalah energi laser 120 mJ dan *delay time detection* 1,0 µs. Berdasarkan kondisi ini, selanjutnya akan dibahas mencari penciri dari kedua kopi tersebut yang hasilnya seperti pada sub-Bab berikut.

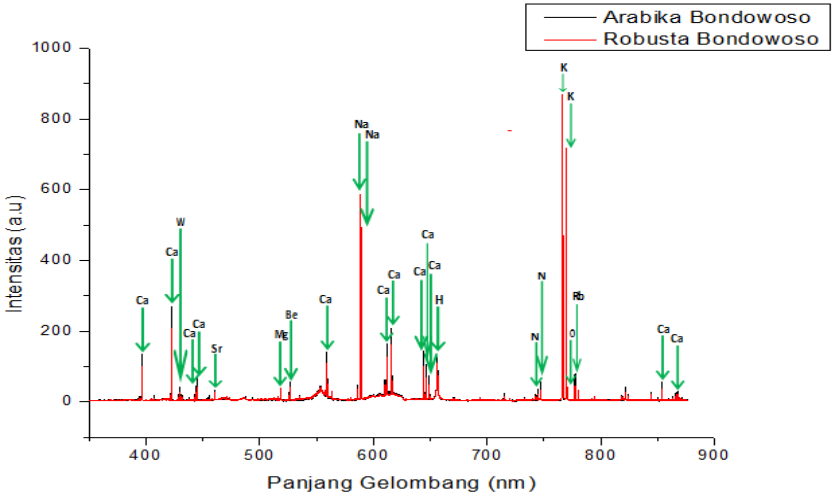
4.2 Analisis Kualitatif Unsur Biji Kopi Hijau Arabika dan Robusta

Unsur-unsur yang terdapat pada biji kopi hijau arabika dan robusta dianalisis dengan menggunakan software addLIBS yang hasilnya pada Lampiran A.5-A.10.

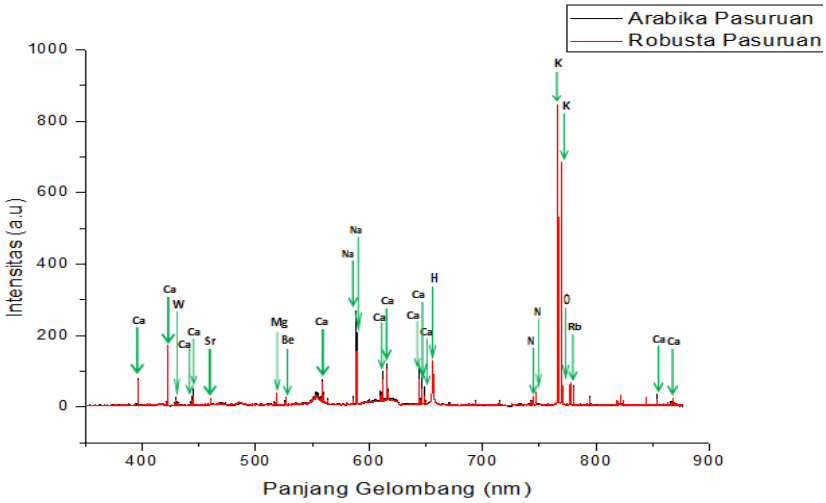
Pada biji kopi hijau arabika maupun robusta mengandung unsur Ca, W, Sr, Mg, Be, Na, H, N, K, Rb dan O. Intensitas unsur yang terkandung pada masing-masing sampel biji kopi hijau arabika dan robusta terdapat pada Lampiran tabel kandungan unsur kopi.



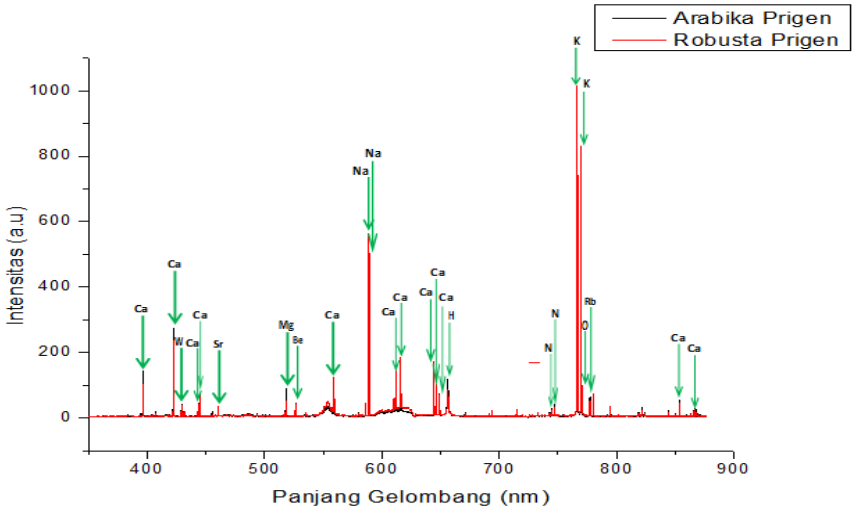
Gambar 4.5 Perbandingan intensitas biji kopi hijau arabika dan robusta dari Malang



Gambar 4.6 Perbandingan intensitas biji kopi hijau arabika dan robusta dari Bondowoso



Gambar 4.7 Perbandingan intensitas biji kopi hijau arabika dan robusta dari Pasuruan

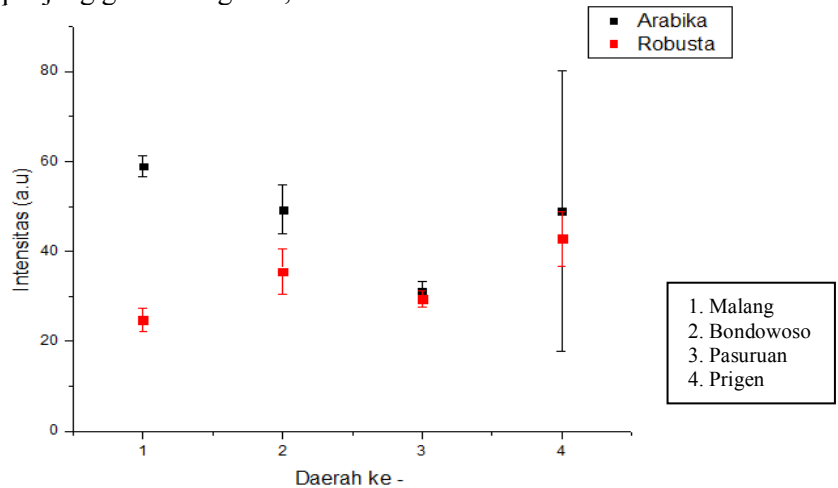


Gambar 4.8 Perbandingan intensitas biji kopi hijau arabika dan robusta dari Prigen

Gambar 4.5, 4.6, 4.7 dan 4.8 merupakan hasil spektrum biji kopi arabika dan robusta berdasarkan daerah asal. Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 4.5, 4.6 , 4.7 dan 4.8 terlihat bahwa intensitas unsur Ca pada biji kopi hijau arabika di semua daerah lebih tinggi dibandingkan robusta di semua panjang gelombang. Sedangkan untuk unsur K pada 766,48 nm dan 769,89 nm biji kopi hijau robusta memiliki nilai intensitas lebih tinggi dibandingkan arabika. Unsur K, Ca dan Mg ini erat kaitannya dengan kandungan unsur hara di dalam tanah. Pada tanaman kopi dan kakao, hara-hara Kalium (K), Kalsium (Ca), dan Magnesium (Mg) dibutuhkan dalam jumlah besar. Pasokan ketiga hara ini sangat menentukan produksi kopi yang dapat diperoleh. Tetapi dari ketiganya, unsur K dibutuhkan dalam jumlah yang lebih banyak dibanding Ca dan Mg. Interaksi ketiga hara ini bersifat antagonis atau saling berlawanan, terutama antara K dengan Ca dan Mg. Jika kandungan K tinggi maka kandungan Ca dan

Mg rendah (Prastowo, 2013). Hasil dari pengujian sesuai dengan penelitian sebelumnya dimana pada spektrum biji kopi hijau arabika dan robusta di Jawa Timur intensitas K paling tinggi dan intensitas Ca dan Mg lebih rendah dibandingkan dengan K.

Dari hasil spektrum yang dihasilkan, unsur dengan intensitas tertinggi pada biji kopi hijau adalah K. Dari beberapa unsur tersebut, unsur yang paling banyak terkandung dalam biji kopi hijau adalah Ca. Oleh karena itu, unsur Ca merupakan unsur utama dalam biji kopi hijau ini. Berikut ini merupakan hasil plot kandungan unsur Ca (I) pada panjang gelombang 422,67 nm beserta standar deviasinya pada semua sampel. Ca (I) pada panjang gelombang 422,67 nm digunakan karena Ca pada panjang gelombang ini memiliki Log Arc paling tinggi dibandingkan Ca pada panjang gelombang lain dengan nilai sebesar 2,76. Nilai Log Arc 2,76 ini menunjukkan probabilitas paling tinggi elektron untuk berpindah dari kulit luar ke kulit dalam dan mengemisikan panjang gelombang 422,67 nm.



Gambar 4.9 Kandungan unsur Ca (I) pada biji kopi hijau arabika dan robusta

Tabel 4.3 Kandungan unsur Ca (I) pada biji kopi hijau arabika dan robusta

Daerah	Malang	Bondowoso	Pasuruan	Prigen
Arabika	58.93977 (± 2.39164)	49.31500 (± 5.44172)	31.12242 (± 2.23836)	48.94583 (± 31.16771)
Robusta	24.74025 (± 2.64509)	35.49026 (± 5.0768)	29.43959 (±1.85076)	42.80139 (± 6.11837)

Tabel 4.3 menunjukkan nilai intensitas area unsur Ca (I) pada semua sampel kopi arabika dan robusta. Angka di dalam kurung adalah standar deviasi dari intensitas yang ditentukan dari rata-rata 3 tembakan laser pulsa di 3 lokasi berbeda pada masing-masing sampel kopi. Untuk unsur Ca ini diperoleh standar deviasi kurang lebih sebesar 1-6. Namun, pada sampel kopi arabika dari Prigen didapatkan standar deviasi yang cukup besar, berarti sebaran data dari sampel ini cukup besar dan titik data individu jauh dari nilai rata-rata.

Kandungan unsur Ca dalam kopi erat kaitannya dengan unsur hara dalam tanah. Hal ini ini juga disebutkan dalam paper (Jorosova, 2014) dimana di dalam kopi mengandung unsur nutrisi mineral dan unsur-unsur beracun (Ca, Cu, Fe, Mg, Zn, Cr, Mn, Ni, dan Pb). Ca termasuk dalam nutrisi mineral yang makronutrien dimana elemen ini dibutuhkan tumbuhan dalam jumlah banyak (>10 mmol/kg BK atau >1.000 ppm) dan Ca ini merupakan nutrien sekunder (Mastuti, 2016). Ca berperan penting dalam pertumbuhan dan perkembangan pada tanaman.

Unsur K dalam kopi berkaitan dengan unsur hara juga dan unsur ini dibutuhkan dalam jumlah yang lebih banyak. Hal ini dikarenakan unsur K termasuk ke dalam unsur makronutrien dan K merupakan nutrient primer. Nutrien ini biasanya cepat habis di tanah karena tanaman menggunakannya dalam jumlah besar untuk pertumbuhan dan pertahanannya. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai intensitas K pada biji kopi hijau sangat tinggi, berarti

kandungan unsur K konsentrasinya sangat tinggi. Dari Gambar 4.5, 4.6, 4.7 dan 4.8 dapat dilihat bahwa nilai intensitas area K berkisar 200-300 a.u, dimana nilai ini merupakan nilai intensitas tertinggi pada biji kopi hijau. Kandungan unsur K pada biji kopi hijau robusta lebih tinggi dibandingkan arabika di daerah Bondowoso, Pasuruan dan Prigen kecuali Malang. Hal ini terjadi dikarenakan biji kopi arabika dan robusta dari Malang diambil dari daerah kebun kopi yang berbeda, untuk arabika diambil dari kebun kopi di lereng Gunung Kawi sedangkan untuk robusta diambil dari kebun kopi di daerah Dampit.

Unsur makronutrien selain K dan Ca adalah Mg. Mg ini termasuk ke dalam nutrient sekunder sama seperti Ca. Unsur Mg ini merupakan aktivator yang berperan dalam transportasi energi beberapa enzim dalam tanaman. Magnesium sangat berperan dalam pembentukan zat hijau daun (klorofil) dan membantu proses metabolism tanaman seperti proses fotosintesis, pembentukan sel, pembentukan protein, pembentukan pati dan transfer energi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa biji kopi arabika memiliki kandungan Mg lebih tinggi dibandingkan robusta pada daerah Malang dan Prigen. Sedangkan untuk daerah Bondowoso dan Pasuruan biji kopi robusta memiliki kandungan Mg lebih tinggi dibandingkan arabika.

Makronutrien (N, P, K, Ca, Mg, S) dan mikronutrien esensial (Fe, Cu, Mn, Zn, B, Mo, Cl dan Ni) memainkan peran penting dalam nutrisi tanaman kopi dan dapat mempengaruhi hasil panen. Mikronutrien yang tidak termasuk analisis rutin adalah Ni, karena nikel ini bersifat racun dapat membatasi pertumbuhan tanaman. Kekurangan makronutrien akan menimbulkan masalah berat bagi pertumbuhan dan tampilan tanaman. Dalam penelitian sebelumnya, disebutkan bahwa kopi arabika mengandung unsur mikronutrien (B, Cu, Fe, Mn, Zn) (Trevizan, 2009) dan juga mengandung unsur makronutrien (P, K, Ca, Mg) (Trevizan, 2008). Hasil

pengujian dengan menggunakan sampel kopi arabika dan robusta unsur makronutrien yang dapat terdeteksi (N, K, Ca, dan Mg), unsur mikronutrien tidak terdeteksi. Unsur lain yang terkandung dalam biji kopi hijau ini adalah W, Sr, Be, Na, H, Rb dan O. Unsur H dan O jelas terkandung karena 96% jaringan di tumbuhan berupa C, H, dan O, makronutrien sebanyak 3,5 % dan mikronutrien hanya 0,5% (Mastuti, 2016). Selain itu, kopi mengandung air sehingga terdapat unsur H dan O. Dalam penelitian ini tidak muncul unsur C dikarenakan unsur C merupakan unsur ringan dan mudah berikatan dengan unsur lain seperti H, O dan N. Sehingga ketika laser difokuskan ke permukaan sampel, maka unsur C bergerak dengan kecepatan tinggi dan berekombinasi dengan unsur N, O dan H di udara membentuk molekul CN, CO dan CH. Pengujian unsur C dalam sampel dapat dilakukan dengan LIBS melalui perlakuan khusus diantaranya melakukan eksperimen di tekanan rendah dalam gas He (Khumaeni, 2006).

Unsur Na termasuk ke dalam unsur hara fungsional merupakan unsur hara yang tidak masuk dalam kategori esensial. Unsur Na, Si, dan Co dianggap bukan unsur hara essensial, tetapi hampir selalu terdapat dalam tanaman. Dengan adanya unsur fungsional ini dapat lebih memperbaiki pertumbuhan dan kualitas hasil atau dengan kata lain, tanpa unsur fungsional ini tanaman tetap dapat menyelesaikan siklus hidupnya dengan sempurna dan normal tetapi dengan adanya unsur ini maka pertumbuhan dan kualitas akan lebih baik pada hasil tanaman tertentu. Natrium terlibat dalam osmosis (pergerakan air) dan mempunyai sifat higroskopis, artinya bahwa unsur ini mudah menyerap air dan menahan air cukup kuat, sehingga tanaman tahan akan kekeringan. Unsur natrium membantu proses transportasi dalam tubuh tanaman sehingga hasil-hasil fotosintesis dapat dibawa dan diakumulasi pada tempat-tempat penyimpanan. Unsur ini juga berperan dalam keseimbangan ion pada tumbuhan. Hasil pengujian

menunjukan bahwa nilai intensitas area unsur Na berkisar antara 18-118 a.u. Unsur Na pada biji kopi arabika lebih tinggi dibandingkan robusta pada daerah Malang dan Pasuruan sedangkan unsur Na pada biji kopi robusta lebih tinggi dibandingkan arabika pada daerah Bondowoso dan Prigen.

Unsur W pada biji kopi hijau arabika memiliki intensitas area lebih tinggi dibandingkan robusta di semua daerah. Selain itu, kandungan unsur Be pada biji kopi hijau arabika juga lebih tinggi dibandingkan robusta di semua daerah. Oleh karena itu, unsur W dan Be ini dapat dijadikan sebagai unsur pembeda antara arabika dan robusta selain unsur Ca. Namun nilai intensitas area unsur W pada kedua jenis biji kopi cukup kecil yaitu sebesar 4-8 a.u pada berbagai daerah asal kopi. Untuk unsur Be memiliki nilai intensitas area yang lebih besar dibandingkan W, sebesar 8-23 a.u.

Untuk unsur Sr sama seperti kandungan jinten Cina, India, Syria, dan Turki dimana jinten tersebut mengandung unsur Al, Ba, Ca, Cr, Fe, Mg dan Sr (Hondrogiannis, 2013). Strontium umumnya terjadi di alam, berkontribusi terhadap sekitar 0,034% dari semua batuan beku. Strontium (Sr) dalam bentuk unsur terjadi secara alami di banyak kompartemen lingkungan, termasuk batu, tanah, air, dan udara. Konsentrasi strontium berlebih dapat disebabkan oleh menetapnya partikel debu dari udara yang bereaksi dengan partikel strontium dari proses industri. Penyerapan konsentrasi tinggi strontium umumnya tidak menjadi bahaya besar bagi kesehatan manusia. Meskipun kopi ini mengandung unsur Sr, namun tidak memiliki bahaya bagi kesehatan manusia. Selain itu. kandungan unsur Sr pada biji kopi ini hanya sekitar 3-10 a.u dilihat dari intensitas area pada spektral kopi yang dihasilkan.

Dalam penelitian ini menunjukkan biji kopi hijau arabika dan robusta memiliki kandungan unsur yang sama dan bentuk spektralnya setangkup, yang membedakan hanyalah intensitas dari masing-masing unsur biji kopi hijau arabika dan robusta.

Oleh karena itu, diperlukan analisis lebih lanjut dengan metode diskriminan untuk mencari penciri spektral dari kedua jenis kopi ini.

4.3 Analisis Unsur Biji Kopi Hijau Arabika dan Robusta dengan Metode Diskriminan

Analisis diskriminan pada biji kopi ini bertujuan untuk mencari unsur yang membedakan antara biji kopi hijau arabika dengan robusta. Analisis ini menggunakan software SPSS *(Statistical Package for the Social Science)*. Unsur yang dimasukkan sebagai variabel *independent* di antaranya adalah Ca, W, Sr, Mg, Be, Na, H, N, K, Rb dan O. Sampel yang digunakan adalah biji kopi arabika dan robusta dari 4 daerah yang berbeda.

Tabel 4.4, adalah Tabel *tests of equality of group means* yang merupakan hasil pengujian tiap-tiap variabel bebas yang ada.

Tabel 4.4 Tabel *tests of equality of group means*

Tests of Equality of Group Means

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
Ca	.601	3.986	1	6	.093
W	.683	2.784	1	6	.146
Mg	.970	.187	1	6	.681
Be	.701	2.555	1	6	.161
Na	.960	.253	1	6	.633
Sr	.759	1.903	1	6	.217
H	.973	.169	1	6	.695
N	.999	.004	1	6	.950
K	.973	.165	1	6	.699
Rb	.980	.122	1	6	.739
O	.986	.085	1	6	.781

Dari hasil *tests of equality of group means* dapat diambil keputusan melalui 2 cara :

1. Dengan angka "Wilk's Lambda"

   Angka ini diperoleh dari rasio antara jumlah kuadrat dalam kelompok *(within group sums of squares)* dan jumlah kuadrat total *(total sums of squares)*. Angka Wilk's Lambda berkisar 0 sampai 1. Jika angka mendekati 0, maka data tiap grup cenderung berbeda sedangkan jika angka mendekati 1, data tiap grup cenderung sama. Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa angkanya mendekati 1 sehingga data unsur Ca hingga O tiap grup cenderung sama.

2. Dengan F test (uji signifikansi)

   Uji F dilakukan untuk menguji hipotesis berikut:

Ho: *group means* dari masing-masing kelompok adalah relatif sama

H_1 :*group means* dari masing-masing kelompok memiliki perbedaan secara nyata

Jika Sig < 0,05, maka Ho ditolak, yang berarti ada perbedaan antar grup. Jika Sig > 0,05, maka Ho tidak ditolak yang berarti *group means* masing-masing kelompok relatif sama (Hening, modul analisis diskriminan). Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan antar grup. Hasil signifikansi menunjukkan bahwa nilainya lebih besar dari 0,05. Berarti tidak ada perbedaan antar grup dan *group covariance matrices* relatif sama. Hal ini berarti data kopi di atas dianggap telah memenuhi asumsi analisis diskriminan, sehingga proses dapat dilanjutkan. Berikut merupakan hasil analisis diskriminan :

Tabel 4.5 Nilai *Canonical Correlation* Model

Summary of Canonical Discriminant Functions

Eigenvalues

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	1.661[a]	100.0	100.0	.790

Canonical correlation menunjukkan keeratan hubungan antara *discriminant score* dengan grup (Masud, 2015). Nilai *conanical correlation* sebesar 0,790 menunjukkan keeratan yang cukup tinggi, dengan ukuran skala asosiasi antara 0 sampai 1. Nilai ini cukup baik karena dapat menjelaskan variabilitas data sebesar 79,0%.

Tabel 4.6 Nilai Wilks' Lambda

Wilks' Lambda

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	Sig.
1	.376	2.936	6	.817

Tabel 4.6 merupakan Wilks' Lambda yang mana adalah varians total dalam nilai diskriminan yang tidak dapat dijelaskan oleh perbedaan antara grup-grup yang dianalisis (Masud, 2015). Angka *chi-square* sebesar 2,936 memiliki tingkat signifikansi rendah menunjukkan tidak adanya perbedaan yang jelas antara kedua grup responden. Nilai signifikansi sebesar 0,817 yang berarti variabel prediktor yakni kandungan unsur Ca, W, Sr, Mg, Be, Na, H, N, K, Rb dan O dapat membedakan kopi arabika dan robusta namun tidak terlalu signifikan. Jika dapat membedakan dengan signifikan, nilai signifikansinya mendekati 0,000. Nilai *Wilk's Lambda* sebesar 0,376 yang berarti bahwa sebesar 37,6% keragaman variabel dependen yang tidak dapat dijelaskan oleh model.

Tabel 4.7 Fungsi diskriminan *canonical*

Canonical Discriminant Function Coefficients

	Function
	1
Ca	-.285
W	.269
Sr	.087
Mg	.083
Be	.034
Na	.096
(Constant)	4.631

Unstandardized coefficients

Berdasarkan data pada Tabel 4.7 yaitu nilai *canonical discriminant function coefficients* dapat disusun fungsi

diskriminannya. Fungsi diskriminan untuk kasus biji kopi hijau arabika dan robusta adalah :

D = 4.631 + (-0,285*Intensitas Ca) + (0,269*Intensitas W) + (0,083*Intensitas Mg) + (0,034*Intensitas Be) + (0,096*Intensitas Na) + (0,087*Intensitas Sr)

Dari hasil diskriminan ini dapat disimpulkan bahwa unsur yang membedakan biji kopi hijau arabika dan robusta adalah Ca, W, Mg, Be, Na, dan Sr.

Tabel 4.8 Tabel *Function at Group Centroid*

Functions at Group Centroids

Kopi	Function 1
.00	-1.116
1.00	1.116

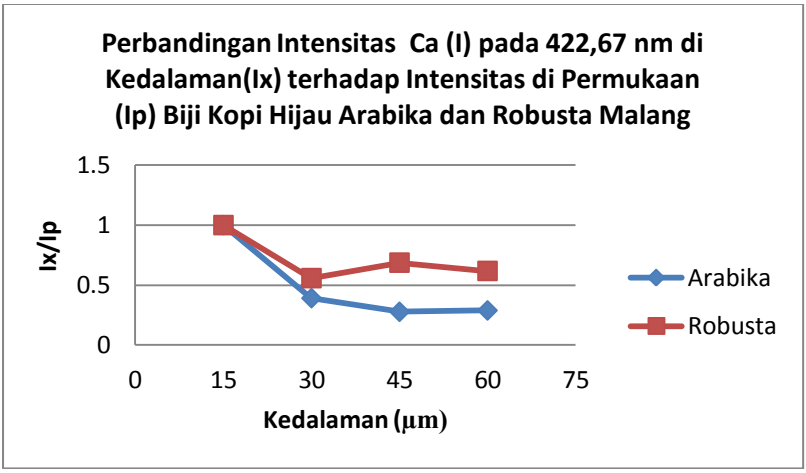
Penerapan dari hasil ini adalah bila ada sampel sembarang kopi dianalisis dengan LIBS dan diperoleh intensitas dari unsur-unsur Ca, W, Mg, Be, Na dan Sr yang kemudian nilai luas area di bawah spektrum dimasukan ke persamaan tersebut dan bila hasilnya lebih besar nol maka kopi tersebut adalah robusta dan jika hasilnya lebih kecil dari nol maka kopi tersebut adalah arabika.

4.4 Analisis Homogenitas Unsur Biji Kopi Hijau

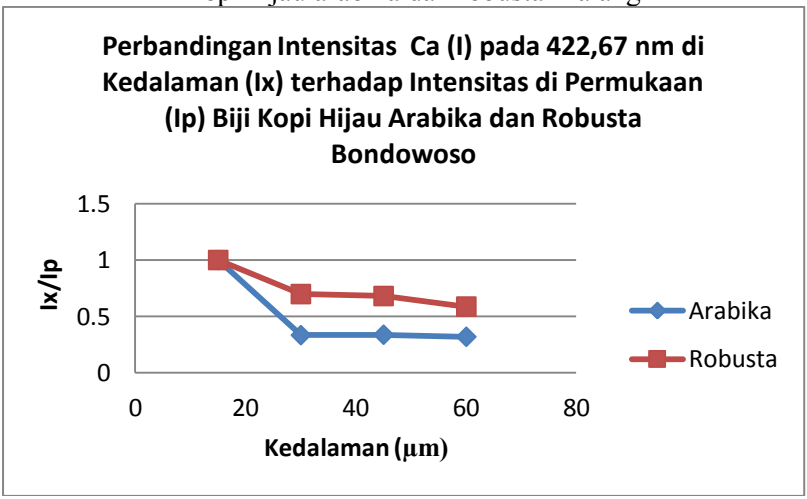
Depth profile adalah suatu metode dalam LIBS yang digunakan untuk menganalisis homogenitas unsur pada tiap sampel biji kopi hijau di tiap daerah. Konsentrasi suatu unsur utama penyusun suatu bahan seharusnya konstan (homogen) di semua posisi sampel baik di permukaan maupun di dalam sampel. Tetapi kebanyakan peralatan hanya dapat pengecek

jumlah unsur penyusun bahan hanya sampai kedalaman sekitar 40 μm dari permukaan sampel. Sehingga peralatan semacam ini tidak bisa membedakan suatu unsur sebagai pelapis di permukaan saja atau merupakan penyusun utama suatu bahan. Suatu unsur dikatakan unsur utama penyusun bahan, bila nilai konsentrasinya homogen (konstan) dari permukaan hingga bagian dalam sampel (Suyanto, 2013). Dengan menggunakan LIBS ini dapat dilakukan analisis homogenitas suatu unsur. Dalam sampel biji kopi ini, dianalisis homogenitas unsur Ca (I) pada 422,67 nm. Ca (I) pada panjang gelombang 422,67 nm digunakan karena Ca pada panjang gelombang ini memiliki Log Arc paling tinggi dibandingkan Ca pada panjang gelombang lain dengan nilai sebesar 2,76. Nilai Log Arc 2,76 ini menunjukkan probabilitas paling tinggi elektron untuk berpindah dari kulit luar ke kulit dalam dan mengemisikan panjang gelombang 422,67 nm.

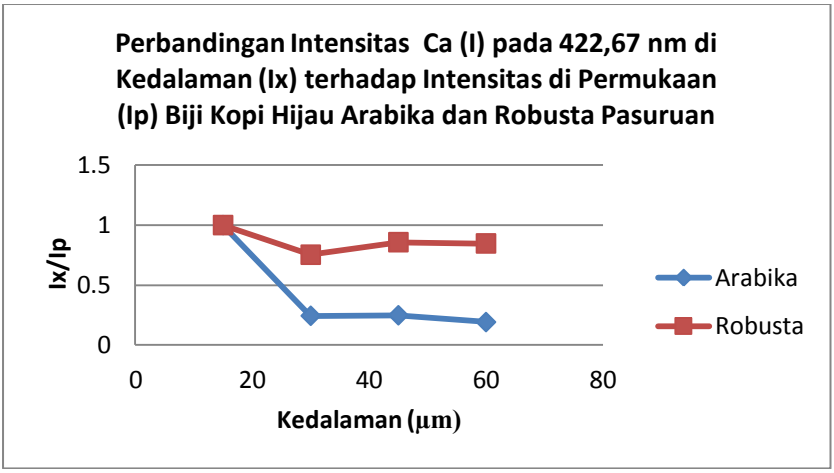
Eksperimen dilakukan dengan menembakan shots laser sebanyak 3 kali yang kemudian datanya dirata-rata dan selanjutnya dinamakan penembakan ke 1. Tiga shot laser ini setara dengan kedalamanan 15 μm. Pada tempat yang sama dilakukan penembakan yang ke 2 hingga kedalaman menjadi 30 μm; selanjutnya penembakan ke 3 adalah 45 μm; dan penembakan ke 4 adalah 60 μm. Diameter laser pada titik fokus pada eksperimen diset 100 μm. Untuk penelitian ini, unsur yang akan diuji homogenitasnya adalah Ca yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.11, 4.11, 4.12 dan 4.13.



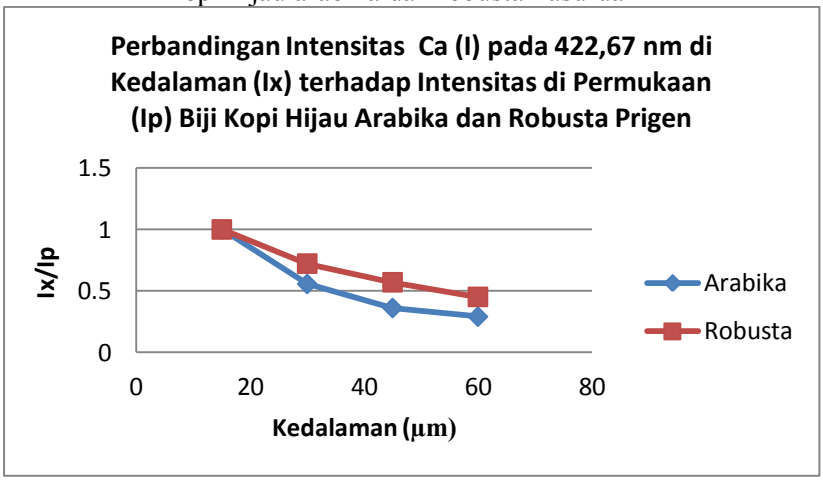
Gambar 4.10 Homogenitas unsur Ca (I) pada 422,67 nm biji kopi hijau arabika dan robusta Malang



Gambar 4.11 Homogenitas unsur Ca (I) pada 422,67 nm biji kopi hijau arabika dan robusta Bondowoso



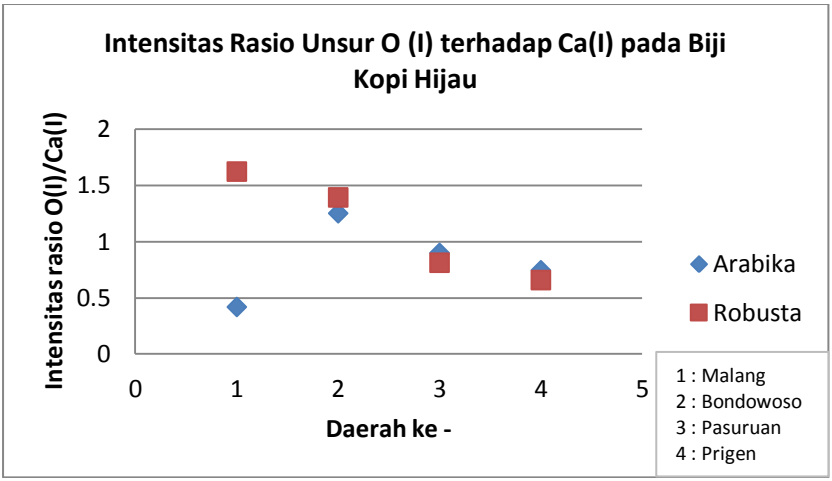
Gambar 4.12 Homogenitas unsur Ca (I) pada 422,67 nm biji kopi hijau arabika dan robusta Pasuruan



Gambar 4.13 Homogenitas unsur Ca (I) pada 422,67 nm biji kopi hijau arabika dan robusta Prigen

Hasil pengujian *depth profile* pada Gambar 4.10, 4.11, 4.12 menunjukan bahwa Ca di permukaan biji kopi hijau arabika sangat banyak dibandingkan di bagian dalam dan

secara umum homogen. Ini dibuktikan, setelah penembakan pertama (0-15μm) unsur Ca menurun tajam, sedangkan setelah penembakan ke 2 hingga penembakan ke 4 (15-60μm) unsur Ca mulai homogen/stabil dengan grafik mendatar. Sedangkan untuk unsur Ca pada biji kopi hijau robusta di permukaan dan di dalam sampel kandungannya hampir sama dan homogen. Namun, pada biji kopi hijau robusta Prigen pada Gambar 4.13 menunjukan bahwa kandungan unsur Ca di permukaan sangat banyak dibandingkan di bagian dalam dan kandungannya hampir sama dengan biji kopi hijau arabika Prigen. Hal ini dikarenakan kadar air pada biji kopi hijau robusta prigen paling sedikit dibandingkan robusta dari daerah lain seperti pada Gambar 4.14. Emisi dari atom oksigen digunakan sebagai indikator air terutama karena proporsi oksigen jauh lebih tinggi di dalam air dari pada molekul organik seperti protein dan lemak. Sementara itu, atom hidrogen yang melimpah di air dan molekul organik dan sebagai konsekuensi tidak mewakili adanya konten air dalam sampel. Sinyal LIBS lemah ketika kadar air lebih tinggi, tetapi pada saat yang sama, emisi oksigen lebih besar (Liu, Y. 2012). Oleh karena itu, perbandingan intensitas oksigen dengan unsur Ca dapat dijadikan indikator tingkat kadar air. Biji kopi hijau arabika dan robusta dari daerah Malang berasal dari tempat yang berbeda yaitu arabika dari lereng Gunung Kawi dan robusta dari daerah Dampit dan dari hasil intensitas rasio O (I) dengan Ca (I) menunjukkan biji kopi hijau arabika dan robusta dari daerah Malang memiliki kadar air yang berbeda. Sedangkan untuk daerah lain memiliki kadar air yang sama karena berasal dari kebun kopi yang sama.



Gambar 4.14 Intensitas rasio unsur O (I) terhadap Ca (I) pada biji kopi hijau

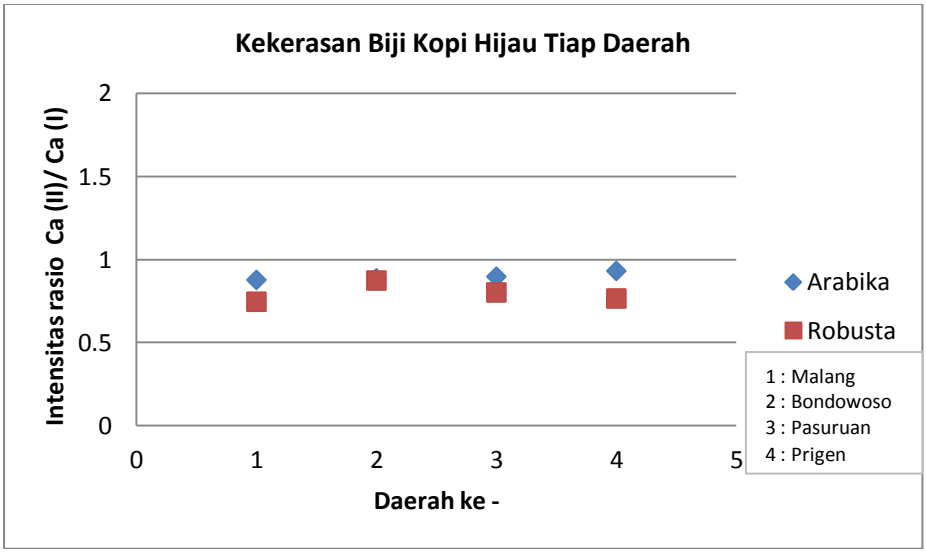
4.5 Analisis Tingkat Kekerasan Biji Kopi Hijau Arabika dan Robusta

Analisis uji kekerasan pada biji kopi ini dimaksudkan untuk memperoleh penciri atau pembeda antara kopi hijau arabika dengan robusta. Uji kekerasan dilakukan dengan membandingkan intensitas emisi unsur Ca (II) ion 396,84 nm terhadap unsur Ca (I) netral 422,67 nm (Khumaeni, 2006). Pemilihan panjang gelombang Ca (I) dan Ca (II) yang dipilih karena berdasarkan MIT Wavelength Tables, Wavelength by element memiliki Log Arc tinggi masing-masing sebesar 2,76 dan 2,02.

Berdasarkan Lampiran A.11 dan A.12 kandungan unsur kopi maka nilai intensitas emisi unsur Ca (I) dan Ca (II) dari biji kopi hijau arabika dan robusta dapat diperoleh seperti pada Tabel 4.9 dan di grafik pada Gambar 4.15.

Tabel 4.9 Rasio intensitas Ca (II) terhadap Ca (I) pada biji kopi hijau

Daerah	Intensitas Ca (I) (a.u)		Intensitas Ca (II) (a.u)		Rasio Intensitas Ca (II) dan Ca (I)	
	Arabika	Robusta	Arabika	Robusta	Arabika	Robusta
Malang	58.9397799	24.74025987	51.63593794	18.42254997	0.87608	0.744638
Bondowoso	49.31500968	35.49026254	43.67897824	30.9671091	0.885714	0.872552
Pasuruan	31.12242617	29.43959588	27.87862478	23.56733327	0.895773	0.800532
Prigen	48.94583683	42.80139162	45.52288926	32.7066109	0.930067	0.764148
Rata-rata	47.08076314	33.11787748	42.17910756	26.41590081	0.895888	0.797633



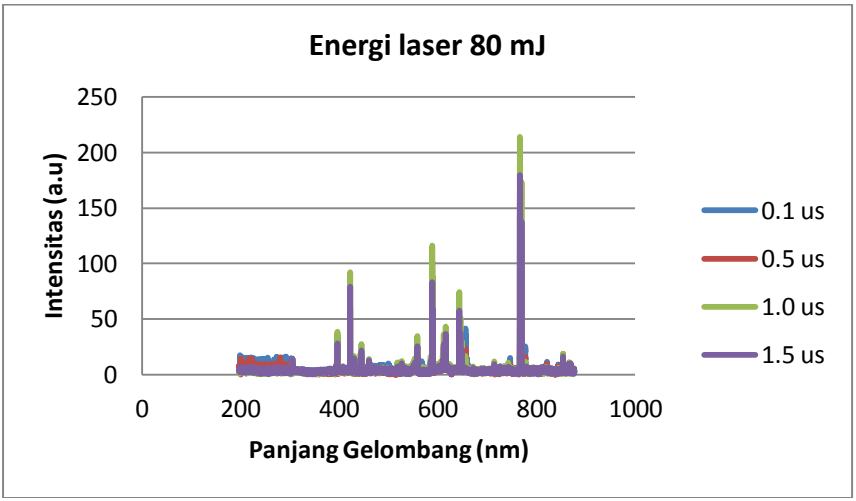
Gambar 4.15 Tingkat kekerasan biji hijau kopi tiap daerah

Data dari Gambar 4.15, menunjukan perbandingan intensitas emisi rata-rata Ca (II) 396,84 nm terhadap Ca (I) 422,67 nm pada sampel biji kopi hijau arabika adalah

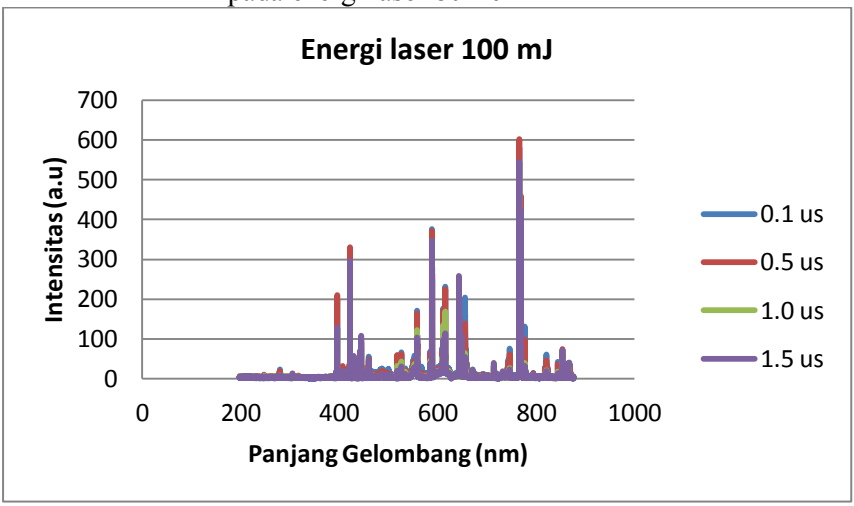
0,895888, dan pada biji kopi hijau robusta adalah 0,797633. Hasil ini dapat disimpulkan bahwa biji kopi hijau arabika memiliki kekerasan lebih tinggi dibandingkan biji kopi hijau robusta di semua daerah. Kekerasan paling tinggi untuk kopi arabika dari Prigen sedangkan kopi robusta dari Bondowoso.

Semakin tinggi rasio Ca (II) dan Ca (I), maka akan semakin tinggi tingkat kekerasan sebuah sampel. Ketika laser Nd:YAG mengenai sampel, atom-atom netral penyusun dari sampel akan terablasikan dari sampel dengan diikuti oleh ionisasi atom yang berada di belakang gelombang kejut *(shock front)*. Ketika gelombang tersebut berekspansi dengan kecepatan yang sangat tinggi, ionisasi atom yang terablasi akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan adanya kenaikan temperatur di belakang gelombang kejut. Peristiwa tersebut akan menghasilkan kenaikan intensitas emisi ionik atom Ca yang siginifikan dibandingkan dengan intensitas emisi netral atom Ca. Selain itu, peristiwa ini hanya terjadi pada atom-atom yang mempunyai energi ionisasi rendah seperti atom kalsium. Intensitas emisi ionik dari atom Ca pada sampel keras *(hard sample)* lebih tinggi dibandingkan dengan emisi atom netral. Sebaliknya intensitas emisi ionik pada atom Ca pada sampel lunak *(soft sample)* cukup lemah. Hal ini terjadi karena kecepatan gelombang kejut yang dihasilkan pada sampel lunak sangat rendah. Kecepatan tersebut dipengaruhi oleh gaya repulsif pada permukaan sampel lunak (Khumaeni, 2006).

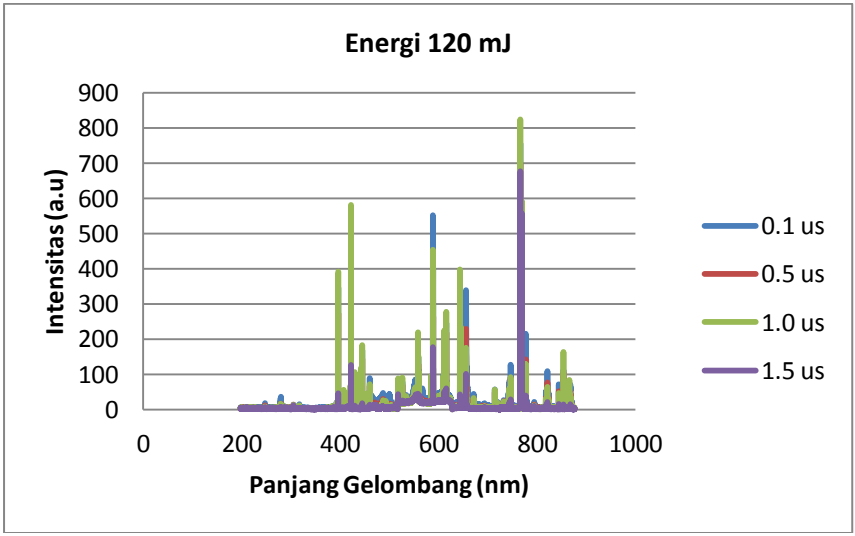
LAMPIRAN A



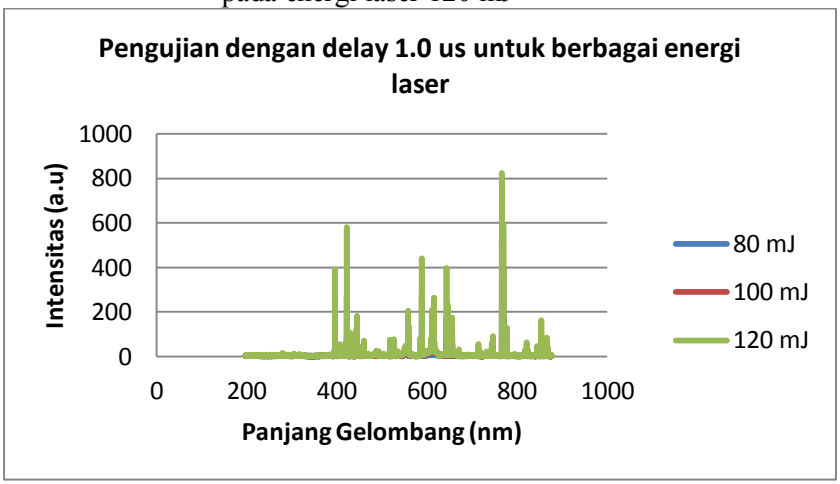
Gambar A.1 Spektral biji kopi arabika dengan berbagai delay pada energi laser 80 mJ



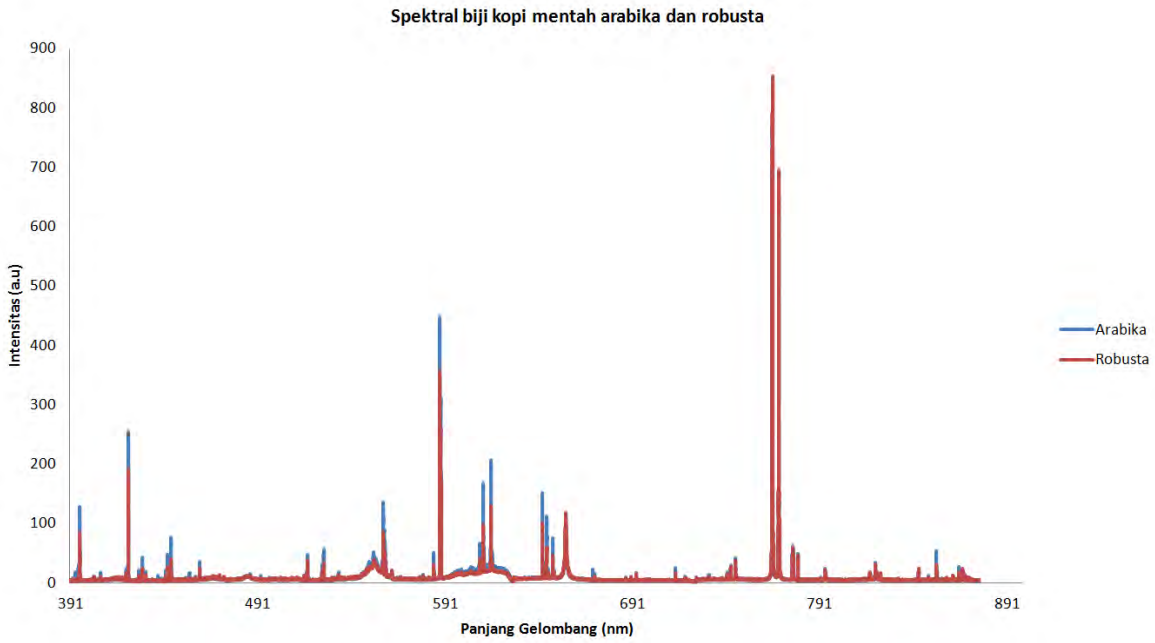
Gambar A.2 Spektral biji kopi arabika dengan berbagai delay pada energi laser 100 mJ



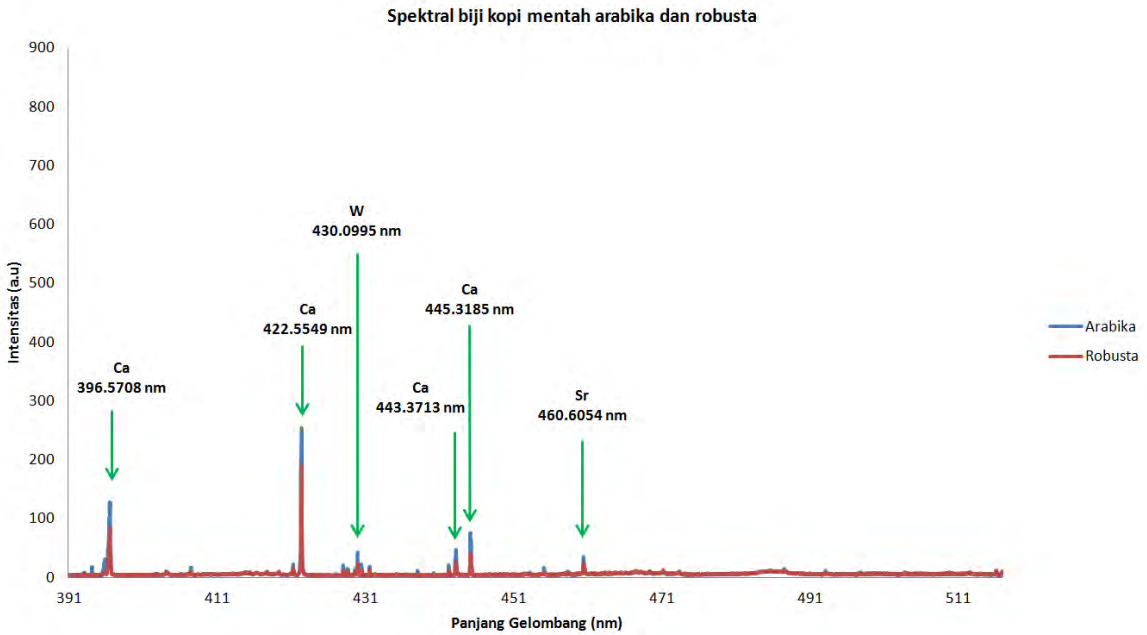
Gambar A.3 Spektra biji kopi arabika dengan berbagai delay pada energi laser 120 mJ



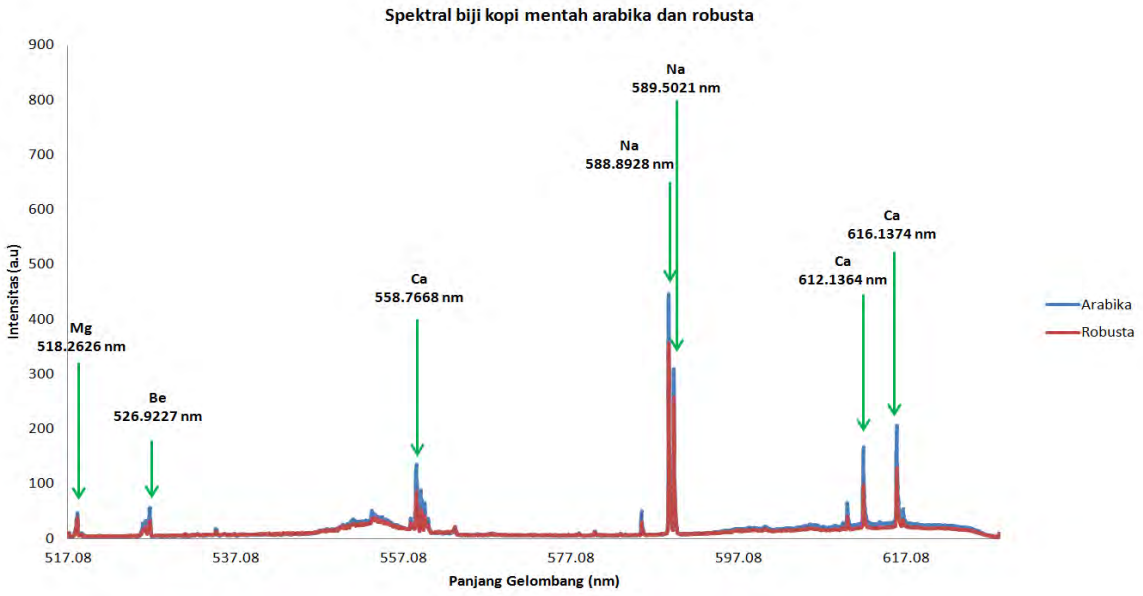
Gambar A.4 Spektra biji kopi dengan delay 1,0 µs untuk berbagai energi laser



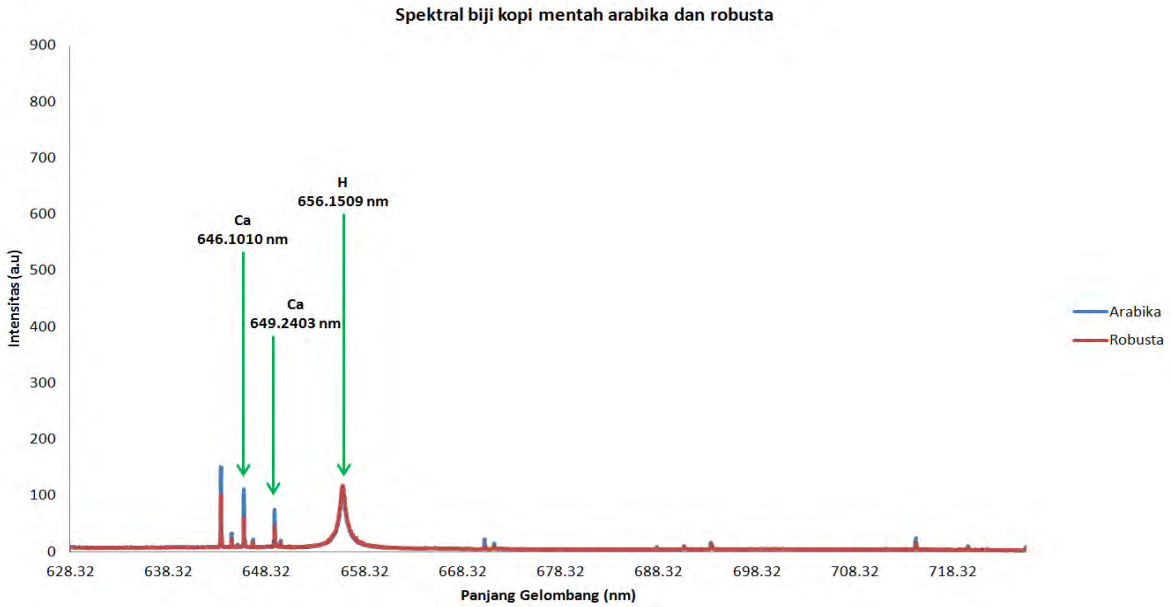
Gambar A.5 Spektral biji kopi hijau arabika dan robusta



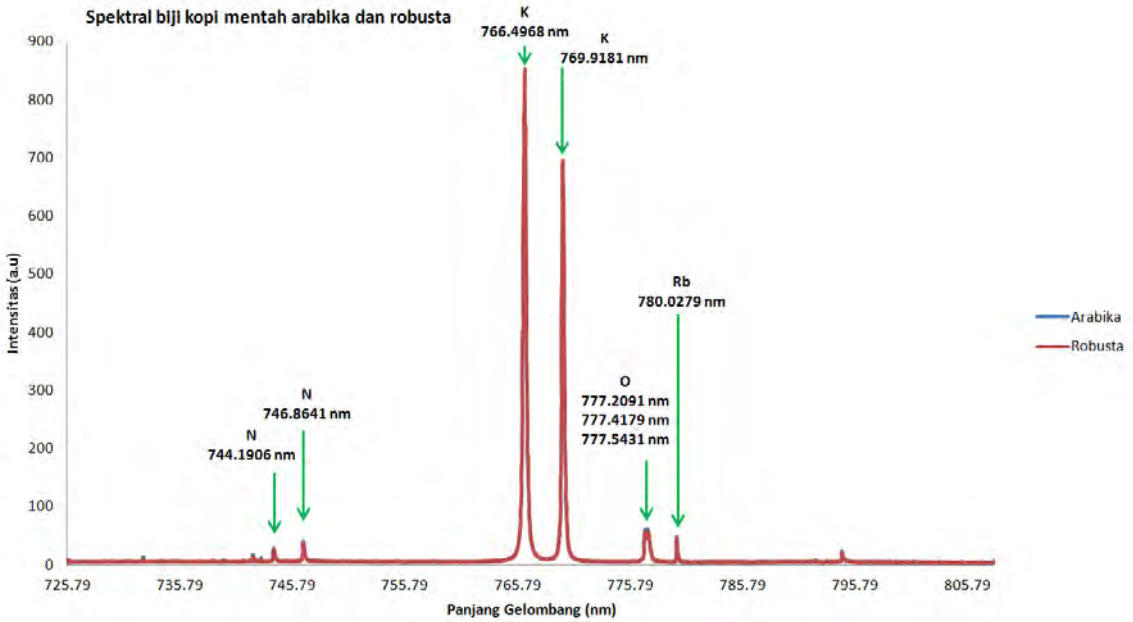
Gambar A.6 Spektral biji kopi hijau arabika dan robusta pada panjang gelombang 394,10-517,08 nm beserta unsur yang terkandung



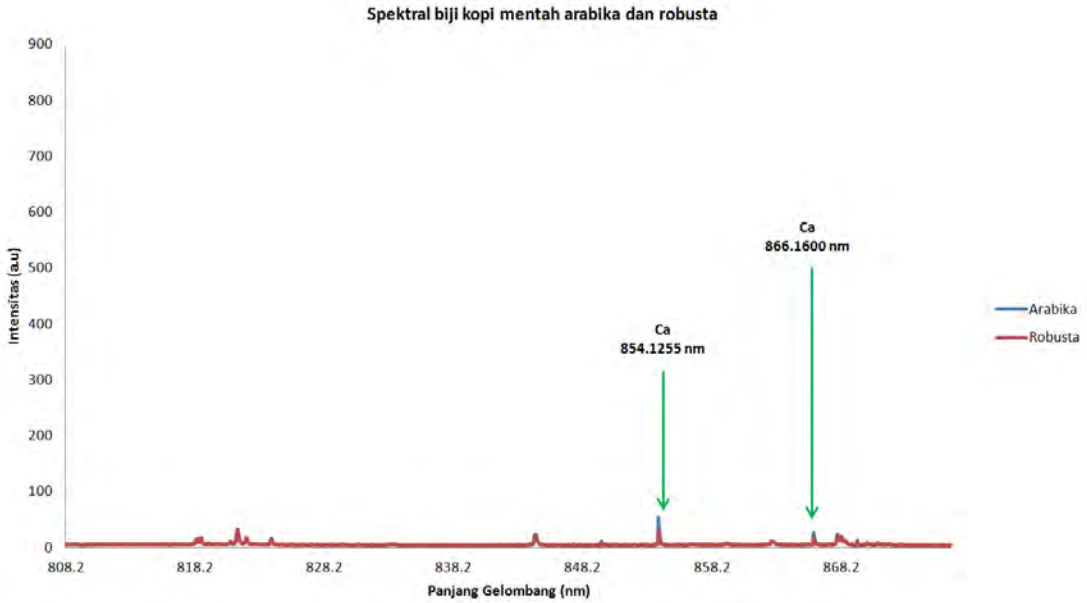
Gambar A.7 Spektral biji kopi hijau arabika dan robusta pada panjang gelombang 517,08-628,32 nm beserta unsur yang terkandung



Gambar A.8 Spektral biji kopi hijau arabika dan robusta pada panjang gelombang 628,32-725,79 nm beserta unsur yang terkandung



Gambar A.9 Spektral biji kopi hijau arabika dan robusta pada panjang gelombang 725,79-808,20 nm beserta unsur yang terkandung



Gambar A.10 Spektral biji kopi hijau arabika dan robusta pada panjang gelombang 808,20-876,76 nm beserta unsur yang terkandung

Tabel A.1 Kandungan Unsur Biji Kopi Hijau Arabika Daerah Malang dan Bondowoso

Unsur	Panjang Gelombang (nm)	Intensitas Area Arabika Malang (a.u)	Standar deviasi (SD)	RSD (%)	Intensitas Area Arabika Bondowoso (a.u)	Standar deviasi (SD)	RSD (%)
Ca(II)	396.71	51.63593	1.86644	3.61462	43.67898	2.89592	6.63001
Ca	422.555	58.93977	2.39164	4.05778	49.31501	5.44172	11.0346
Ca	443.371	13.85733	0.58347	4.21054	9.747345	2.90366	29.7892
Ca	445.319	22.52678	1.49191	6.62282	16.3532	3.64248	22.2738
Ca	558.767	59.28242	1.44693	2.44074	38.23209	9.35079	24.458
Ca	612.136	64.67748	6.13197	9.48084	39.64015	11.4631	28.9178
Ca	616.137	87.07039	6.60601	7.58698	55.79937	11.2528	20.1665
Ca	646.101	17.55805	0.80783	4.60089	13.48902	3.59481	26.6499
Ca	649.24	10.48464	0.11887	1.13379	8.056706	2.52708	31.3662

Ca	854.126	11.02966	0.37371	3.38824	9.12456	2.39521	26.2502
Ca(II)	866.16	5.80478	0.31964	5.50643	5.294348	1.43831	27.1668
W	430.1	8.47187	0.58123	6.86068	6.575996	1.54526	23.4984
Mg	518.263	9.95904	0.75186	7.54951	9.161562	3.01049	32.86
Be	526.923	23.61496	0.72228	3.05858	14.21064	2.73508	19.2467
Na	588.893	118.62833	8.90177	7.50391	86.29674	21.6921	25.1366
Na	589.502	84.30369	7.75571	9.19973	58.90333	17.1436	29.1046
Sr	460.605	10.52458	0.72151	6.85543	8.519324	2.05769	24.1532
H	656.151	126.07493	15.0043	11.9011	201.6945	86.2642	42.7697
H	656.151	126.07493	15.0043	11.9011	201.6945	86.2642	42.7697
H	656.151	126.07493	15.0043	11.9011	201.6945	86.2642	42.7697
N	744.191	5.61037	0.32213	5.74172	9.209422	4.65011	50.4929
N	746.864	8.26383	1.16598	14.1095	14.6417	7.54021	51.4982
K	766.497	353.08428	14.7997	4.19155	218.724	81.2604	37.152
K	769.918	236.02578	9.19621	3.89627	147.1502	54.9743	37.3593
Rb	780.028	10.65911	1.00871	9.46336	4.356987	1.8186	41.7397

O	777.209	24.66420	1.49853	6.07571	44.37022	20.229	45.5914
O	777.418	24.66420	1.49853	6.07571	44.37022	20.229	45.5914
O	777.543	24.66420	1.49853	6.07571	44.37022	20.229	45.5914

Tabel A.2 Kandungan Unsur Biji Kopi Hijau Arabika Daerah Pasuruan dan Prigen

Unsur	Panjang Gelombang (nm)	Intensitas Area Arabika Pasuruan (a.u)	Standar deviasi (SD)	RSD (%)	Intensitas Area Arabika Prigen (a.u)	Standar deviasi (SD)	RSD (%)
Ca(II)	396.71	27.87862	4.97151	17.8327	45.52289	28.8234	63.3162
Ca	422.555	31.12242	2.23836	7.19211	48.94584	31.1677	63.678
Ca	443.371	7.49001	0.98516	13.1529	10.43325	8.00768	76.7516
Ca	445.319	11.60518	1.01965	8.78617	17.22412	12.8324	74.5023
Ca	558.767	24.65357	0.7727	3.13423	32.7777	21.9161	66.863

Ca	612.136	28.29472	2.85061	10.0747	34.01892	22.6341	66.5339
Ca	616.137	39.44041	2.79032	7.07477	45.97381	30.8146	67.0265
Ca	646.101	12.33759	1.09944	8.91131	14.53011	10.6865	73.547
Ca	649.24	8.41974	0.83115	9.87149	8.710771	6.29063	72.2166
Ca	854.126	6.46711	0.71625	11.0752	9.905476	7.95647	80.324
Ca(II)	866.16	3.65879	0.7267	19.8617	5.095524	3.42675	67.2502
W	430.1	4.94210	0.35007	7.08351	7.221479	4.07884	56.482
Mg	518.263	8.39328	0.65576	7.81292	24.41756	3.1741	12.9992
Be	526.923	8.83093	1.03242	11.691	11.922	7.45908	62.5656
Na	588.893	48.67977	5.15886	10.5975	64.35377	17.1476	26.6459
Na	589.502	31.76306	4.48793	14.1294	42.26292	11.6647	27.6004
Sr	460.605	5.84774	0.7546	12.9041	7.71313	5.43219	70.4278
H	656.151	205.13848	13.5629	6.61158	200.1099	58.078	29.0231
H	656.151	205.13848	13.5629	6.61158	200.1099	58.078	29.0231

H	656.151	205.13848	13.5629	6.61158	200.1099	58.078	29.0231
N	744.191	8.28796	0.59358	7.16199	8.541347	3.21972	37.6957
N	746.864	12.39261	1.21919	9.83803	12.54248	6.7757	54.022
K	766.497	332.69959	6.55918	1.9715	389.4636	106.199	27.268
K	769.918	238.90345	28.2233	11.8137	260.2629	71.629	27.5218
Rb	780.028	11.61898	1.51167	13.0104	9.628619	6.09323	63.2825
O	777.209	38.97299	0.52239	1.3404	36.47983	18.3528	50.3095
O	777.418	38.97299	0.52239	1.3404	36.47983	18.3528	50.3095
O	777.543	38.97299	0.52239	1.3404	36.47983	18.3528	50.3095

Tabel A.3 Kandungan Unsur Biji Kopi Hijau Robusta Daerah Malang dan Bondowoso

Unsur	Panjang Gelombang (nm)	Intensitas Area Robusta Malang (a.u)	Standar deviasi (SD)	RSD (%)	Intensitas Area Robusta Bondowoso (a.u)	Standar deviasi (SD)	RSD (%)
Ca(II)	396.71	18.42255	1.494838	8.11417	30.96710	3.32462	10.736
Ca	422.555	24.74025	2.645089	10.6914	35.49026	5.07680	14.3048
Ca	443.371	4.76359	0.462833	9.71604	6.82568	1.75662	25.7355
Ca	445.319	7.25055	0.423355	5.83894	11.59063	3.49855	30.1844
Ca	558.767	12.79873	1.727432	13.4969	29.39635	6.00107	20.4144
Ca	612.136	11.90741	0.821537	6.89937	29.80140	5.30097	17.7877
Ca	616.137	19.51831	3.307986	16.9481	41.79607	5.86729	14.0379
Ca	646.101	6.54957	0.876522	13.3829	9.57302	1.67235	17.4695
Ca	649.24	4.38497	0.572727	13.0611	6.68874	1.57330	23.5217

Ca	854.126	4.36410	0.644383	14.7655	6.76718	0.88651	13.1002
Ca(II)	866.16	2.66882	0.307886	11.5364	3.70063	0.59457	16.0668
W	430.1	3.95067	0.20195	5.1118	4.79447	0.78050	16.2793
Mg	518.263	7.78342	0.153658	1.97417	10.95037	1.43030	13.0617
Be	526.923	5.75095	0.983046	17.0936	11.18666	2.02105	18.0666
Na	588.893	18.79136	1.857979	9.88741	105.71309	17.23475	16.3033
Na	589.502	11.67702	1.538104	13.1721	72.50823	13.87385	19.1342
Sr	460.605	3.23986	1.361455	42.0219	6.74158	1.04157	15.45
H	656.151	244.79851	31.06536	12.6902	155.00680	31.28988	20.1861
H	656.151	244.79851	31.06536	12.6902	155.00680	31.28988	20.1861
H	656.151	244.79851	31.06536	12.6902	155.00680	31.28988	20.1861
N	744.191	8.88511	1.301621	14.6495	6.43306	1.10996	17.2541
N	746.864	15.67029	2.441227	15.5787	9.75728	2.47934	25.4102
K	766.497	250.52832	40.29247	16.083	315.86489	35.80019	11.334
K	769.918	169.14468	26.40137	15.6087	209.70495	18.4993	8.82159
Rb	780.028	4.14310	0.429862	10.3754	5.61271	1.15220	20.5284

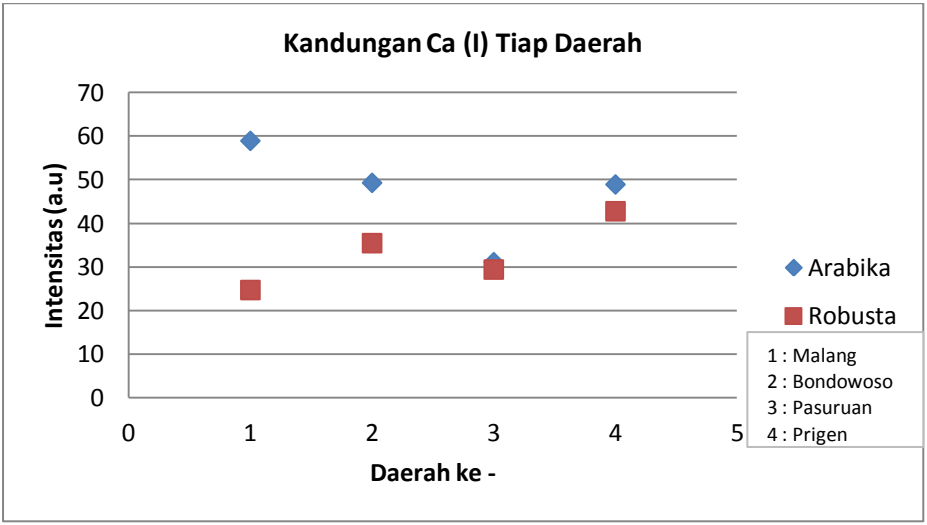
O	777.209	40.16499	6.497336	16.1766	28.82186	5.70598	19.7974
O	777.418	40.16499	6.497336	16.1766	28.82186	5.70598	19.7974
O	777.543	40.16499	6.497336	16.1766	28.82186	5.70598	19.7974

Tabel A.4 Kandungan Unsur Biji Kopi Hijau Robusta Daerah Pasuruan dan Prigen

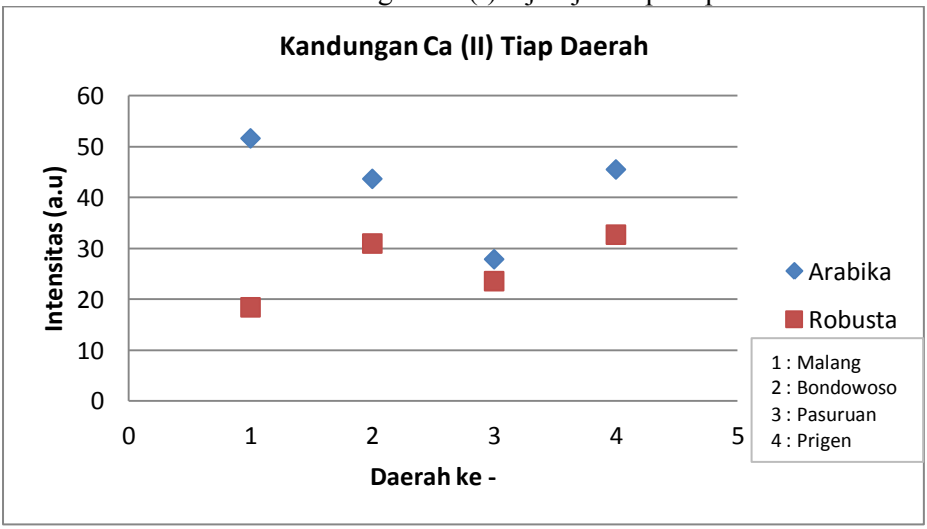
Unsur	Panjang Gelombang (nm)	Intensitas Area Robusta Pasuruan (a.u)	Standar deviasi (SD)	RSD (%)	Intensitas Area Robusta Prigen (a.u)	Standar deviasi (SD)	RSD (%)
Ca(II)	396.71	23.5673333	1.950513	8.27634	32.70661	4.62273	14.1339
Ca	422.555	29.4395959	1.850758	6.28663	42.80139	6.11837	14.2948
Ca	443.371	5.79272566	1.047627	18.0852	10.33575	1.21073	11.714
Ca	445.319	8.44104419	1.388892	16.454	16.59404	2.65918	16.0249

Ca	558.767	19.1256592	4.213296	22.0295	33.9689	11.3197	33.3236
Ca	612.136	20.9128647	4.786452	22.8876	39.12735	8.70897	22.258
Ca	616.137	26.7868553	4.705123	17.565	52.89436	12.9259	24.4372
Ca	646.101	8.22202467	1.135212	13.807	14.38627	1.82028	12.6529
Ca	649.24	5.7025218	0.798686	14.0058	9.733625	0.26624	2.73527
Ca	854.126	4.73948516	0.697227	14.711	8.467683	1.07318	12.6738
Ca(II)	866.16	2.52735024	0.435359	17.2259	4.660164	0.39718	8.52287
W	430.1	4.28562338	0.562376	13.1224	7.221154	0.71312	9.87549
Mg	518.263	11.0576095	1.559625	14.1045	15.04805	1.44178	9.58116
Be	526.923	8.02449928	0.572063	7.12895	11.45542	3.21223	28.0411
Na	588.893	33.4093135	11.67778	34.9537	104.584	23.3558	22.3322
Na	589.502	21.2956133	6.851374	32.1727	74.04421	17.3839	23.4778
Sr	460.605	6.25785194	0.457784	7.31535	8.385827	0.69168	8.24819
H	656.151	214.289421	22.0507	10.2901	165.7001	14.413	8.69823
H	656.151	214.289421	22.0507	10.2901	165.7001	14.413	8.69823
H	656.151	214.289421	22.0507	10.2901	165.7001	14.413	8.69823

N	744.191	8.36748626	1.742664	20.8266	6.337627	0.94207	14.8647
N	746.864	13.2932645	2.330257	17.5296	8.567533	0.54498	6.36098
K	766.497	341.179431	41.22183	12.0822	487.1398	27.2132	5.58632
K	769.918	230.715336	27.17754	11.7797	329.4453	17.4503	5.29686
Rb	780.028	9.48904477	1.524005	16.0607	13.35186	0.39401	2.95096
O	777.209	41.0252984	9.256996	22.5641	28.14718	2.05	7.28313
O	777.418	41.0252984	9.256996	22.5641	28.14718	2.05	7.28313
O	777.543	41.0252984	9.256996	22.5641	28.14718	2.05	7.28313



Gambar A.11 Kandungan Ca (I) biji hijau kopi tiap daerah



Gambar A.12 Kandungan Ca (II) biji hijau kopi tiap daerah

ASD | Data: Lines, Levels | Information: List of Spectra, Ground States & Ionization Energies, Bibliography, Help

NIST National Institute of Standards and Technology Physical Meas. Laboratory

NIST Atomic Spectra Database Lines Data

Ca I: 1 Line of Data Found

Z = 20, Ca isoelectronic sequence

Example of how to reference these results:
Kramida, A., Ralchenko, Yu., Reader, J., and NIST ASD Team (2015). *NIST Atomic Spectra Database* (ver. 5.3), [Online]. Available: http://physics.nist.gov/asd [2016, July 11]. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
BibTex Citation (new window)

Wavelength range: 422 - 423 nm
Wavelength in: vacuum below 200 nm, air between 200 and 2000 nm, vacuum above 2000 nm
Highest relative intensity: 50
Some data for neutral and singly-charged ions are available in the Handbook of Basic Atomic Spectroscopic Data

Primary data sources		Query NIST Bibliographic Databases for Ca I (new window)
Energy Levels:	Sugar and Corliss 1985	Ca I Energy Levels
Lines:	Reader et al. 1980	Ca I Line Wavelengths and Classification
Transition Probabilities:	Wiese et al. 1969	Ca I Transition Probabilities

Observed Wavelength Air (nm)	Ritz Wavelength Air (nm)	Rel. Int. (?)	A_{ki} (s^{-1})	Acc.	E_i (cm^{-1})	E_k (cm^{-1})	Lower Level Conf., Term, J	Upper Level Conf., Term, J	Type	TP Ref.	Line Ref.
422.673	422.6728	50	2.18e+08	B+	0.000	- 23 652.304	$3p^64s^2$ ^1S 0	$3p^64s4p$ $^1P^\circ$ 1		T876,T1110,T859	L6097

Gambar A.13 Standar NIST untuk Ca (I)

ASD | Data: Lines, Levels | Information: List of Spectra, Ground States & Ionization Energies, Bibliography, Help

NIST National Institute of Standards and Technology Physical Meas. Laboratory

NIST Atomic Spectra Database Lines Data

Ca II: 1 Line of Data Found

Z = 20, K isoelectronic sequence

Example of how to reference these results:
Kramida, A., Ralchenko, Yu., Reader, J., and NIST ASD Team (2015). *NIST Atomic Spectra Database* (ver. 5.3), [Online]. Available: http://physics.nist.gov/asd [2016, July 11]. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
BibTex Citation (new window)

Wavelength range: 396 - 397 nm
Wavelength in: vacuum below 200 nm, air between 200 and 2000 nm, vacuum above 2000 nm
Highest relative intensity: 220
Some data for neutral and singly-charged ions are available in the Handbook of Basic Atomic Spectroscopic Data

Primary data sources		Query NIST Bibliographic Databases for Ca II (new window)
Energy Levels:	Sugar and Corliss 1985	Ca II Energy Levels
Lines:	Reader et al. 1980	Ca II Line Wavelengths and Classification
Transition Probabilities:	Wiese et al. 1969	Ca II Transition Probabilities

Observed Wavelength Air (nm)	Ritz Wavelength Air (nm)	Rel. Int. (?)	A_{ki} (s^{-1})	Acc.	E_i (cm^{-1})	E_k (cm^{-1})	Lower Level Conf., Term, J	Upper Level Conf., Term, J	Type	TP Ref.	Line Ref.
396.847	396.8469	220	1.4e+08	C	0.00	- 25 191.51	$3p^64s$ ^2S $^1/_2$	$3p^64p$ $^2P^\circ$ $^1/_2$		T8043	L7323

Gambar A.14 Standar NIST untuk Ca (II)

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan serta meninjau kembali permasalahan, batasan masalah, dan tujuan dari tugas akhir ini maka dapat dirumuskan beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Kondisi optimum untuk pengujian biji kopi hijau menggunakan LIBS dengan energi 120 mJ dan *delay time* 1,0 μs.
2. Pada biji kopi hijau mengandung unsur Ca, W, Sr, Mg, Be, Na, H, N, K, Rb dan O. Unsur dengan intensitas tertinggi pada biji hijau kopi adalah K. Unsur yang paling banyak terkandung dalam biji hijau kopi adalah Ca sehingga unsur Ca merupakan unsur utama penyusun dalam biji kopi hijau.
3. Metode analisis diskriminan dapat digunakan untuk membedakan biji kopi hijau arabika dan robusta. Hasil analisis diskriminan yang membedakan antara kopi arabika dan robusta adalah unsur-unsur Ca, W, Mg, Be, Na dan Sr.
4. Hasil pengujian *depth profile* menunjukan bahwa Ca di permukaan biji kopi hijau sangat banyak dibandingkan di bagian dalam dan secara umum kandungan Ca pada biji kopi hijau homogen.
5. Biji kopi hijau arabika memiliki kekerasan lebih tinggi dibandingkan biji kopi hijau robusta di semua daerah. Kekerasan paling tinggi untuk kopi arabika dari Prigen sedangkan kopi robusta dari Bondowoso.

5.2 Saran

Pada penelitian tugas akhir ini, terdapat beberapa hal yang perlu diperbaiki baik dari tinjauan teoritis maupun

aplikatif. Saran yang dapat diberikan penulis terkait dengan pengembangan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengujian tanah dengan LIBS yang digunakan sebagai tempat penanaman kopi. Hal ini bertujuan untuk mencocokkan hubungan unsur hara pada tanah tempat penanaman kopi dengan nutrient pada biji kopi.
2. Penggunaan metode spektroskopi yang dilakukan pada kondisi tekanan rendah. Kondisi tekanan rendah dapat diperoleh dengan penambahan gas mulia seperti He dan Ar pada ruang peletakkan sampel atau dengan menggunakan *Laser Induced Shockwave Plasma Spectroscopy* (LISPS). Hal ini bertujuan agar unsur C dapat terdeteksi dengan baik.
3. Validasi tingkat kadar air pada tiap sampel biji kopi hijau masing-masing daerah dengan menggunakan alat ukur *moisture meter*.
4. Validasi tingkat kekerasan biji kopi hijau masing-masing daerah dengan menggunakan alat ukur kekerasan *microhardness*.

DAFTAR PUSTAKA

Adnan, Hörsten, D.V, Mörlein, D.,Wegener, J.K. 2013. "Prediction of Coffee Varieties Using Near Infrared Spectroscopy". **Articles of Department für Nutzpflanzenwissenschaften Abteilung Agrartechnik Gutenbergstraße 33 37075 Göttingen.** <https://www.uni-goettingen.de>

Anwar, I.(Asosiasi Exportir dan Industri Kopi Indonesia (AEKI)), **Indonesia Coffee Market**, 7 November 2014, <http://www.probat.com/fileadmin/user_upload/Files/1st_Probat-Day_Indonesia/20141107_AICE_Irfan-Anwar.pdf>

Arianti. 2014. "Pengaruh Nilai Potensial Standar Reduksi Unsur Cr, Fe, dan Cu Terhadap Kemampuan Elektrodeposisi Dengan Analisis *Laser Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS)". Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. **Tugas Akhir Universitas Udayana Bali**.

Cahyono, Bambang. 2012. **Sukses Berkebun Kopi**. Jakarta : Penerbit Mina.

Clarke, R. J. and Macrae, R. 1987. **Coffee Technology (Volume 2)**. London and New York : Elsevier Applied Science.

David A. Cremers, Leon J Radziemski. 2013. **Handbook Laser-Induced Breakdown Spectroscopy**. USA : John Wiley & Sons, Ltd.

Direktorat Jendral Perkebunan, Kementrian Pertanian. 2012., **Peraturan Menteri Pertanian Nomor 52/Permentan/OT.140/9/2012 Tentang Pedoman Penanganan Pascapanen Kopi**.

Direktorat Jenderal Perkebunan. 2011. **Luas areal dan produksi perkebunan seluruh Indonesia menurut provinsi dan status pengusahaan: komoditas kopi**<http://www.ditjenbun. go.id>

Fisika, Unpad., 2009 **LASER** <http://phys.unpad.ac.id/wp-content/uploads/2009/02/1-laser1.pdf>

Henderson, S.M. dan R.L. Perry. 1976. **Agricultural Process Engineering 3th Edition**. USA : The AVI Publishing Company. Inc., Wesport Connecticut.

Hening. 2016. **Modul 5 Analisis Diskriminan**, < http://file.upi.edu/Direktori/FPIPS/LAINNYA/MEITRI_HENING/Modul/Modul_Diskriminan.pdf>

Hodgson, E., and Levi, 1987. **Modern Toxicology**. New York : Elseiver Science Publishing Co. Inc.

Hondrogiannis, E., Erin E., Andrzej W. M.2013.,"Spectroscopy Methods for Identifying the Country of Origin," **Journal of SPIE**, Vol. 8726, 87260Q.

International Coffee Organization (ICO). 2014. **Arabica and Robusta**,<http://www.ico.org/>

Jarošová, M., David M., Martin K., 2014. "Elemental Analysis of Coffee: a Comparison of ICP-MS and AAS Methods," **Journal of Food Science**, Vol. 32, 354–359.

Kaiser, J., Karel, N., Madhavi, Z. M., Ales, H., Radomir, M., Martin H., Votjech A., Rene K.,2012. "Trace elemental analysis by laser-induced breakdown spectroscopy-Biological applications," **Journal of Surface Science Reports 67**, 233–243.

Khumaeni, Ali, W. Setia Budi , K. S. Firdaus., 2006. "Penghitungan Rasio Intensitas Ca (II) 396,8 nm dan Ca (I) 422,6 nm pada Sampel Tasbih Asli dan Imitasi menggunakan Metode *Laser Induced Shock wave plasma* (LISPS)". **Jurnal Berkala Fisika ISSN : 1410–9662,** Vol.9, No.2, April 2006, hal 55-62.

Liu, Y., Lionel G., Matthieu B., Martin R., 2012."Correlation between laser-induced breakdown spectroscopy signal and moisture content". **Article in press SAB-04454; No of Pages 4 of Spectrochimica Acta Part B**.

Masud., 2015. **Analisis Diskriminan** <http://masud.lecture.ub.ac.id/files/2015/05/11.-Analisis-Diskriminan-MEF.pdf>

Mastuti, Retno., 2016. **Modul 2-1 Nutrisi Mineral Tumbuhan** <http://retnomastutibiologi.lecture.ub.ac.id/files/2016/02/Modul-2-1-Nutrisi-Mineral-Tumbuhan.pdf>

Najiyati, Sri., Danarti, 2004. **Budidaya Tanaman Kopi dan Penanganan Pasca Panen**. Jakarta : Penebar Swadaya.

Prastowo, Bambang., 2010. **Budisaya dan Pasca Panen Kopi**. Bogor : Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia dan Badan Litbang Pertanian.

Prastowo, Erwin., 2013. "Pemupukan Tanaman Kopi dan Kakao Perlu Memperhatikan Interaksi Antarhara". **Warta Pusat Penelitian Kopi dam Kakao Indonesia**.

Rahardjo, Pudji., 2012. **Panduan Budidaya dan Pengolahan Kopi Arabika dan Robusta**. Jakarta : Penebar Swadaya.

Ridwansyah, 2003. **Pengolahan Kopi**. Artikel Jurusan Teknologi Pertanian Universitas Sumatera Utara. < http://library.usu.ac.id/download/fp/tekper-ridwansyah4.pdf>

Rumah Kopi. 2012. **Iklim dan Kondisi Tempat Penanaman Kopi**,<http://www.rumahkopi.com/2012/02/iklim-dan-kondisi-tempat-penanaman-kopi.html>

Santos, João Rodrigo, Mafalda C. Sarraguça, António O.S.S. Rangel, João A. Lopes. 2012. "Evaluation of green coffee beans quality using near infrared spectroscopy: A quantitative approach". **Journal of Food Chemistry 135**, 1828–1835.

Surya, Yohanes., 2016. **Luar biasanya laser**, <http://www.yohanessurya.com/download/penulis/Teknologi_18.pdf>

Suyanto, Hery. 2013. "Identifikasi Unsur Utama Penyusun Permukaan Bahan Baja Ringan Dengan Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)". **Jurnal Energi dan Manufaktur Vol.6**, No.2, Oktober 2013: 95-205.

Svelto, Orazio. 2010. **Principles of lasers**. Milan : Polytechnic Institute of Milan and National Research Council.

Trevizan, Lilian Cristina, Dário Santos Jr., Ricardo Elgul Samad , Nilson Dias Vieira Jr., Lidiane Cristina Nunes, Iolanda Aparecida Rufini, Francisco José Krug. 2009. "Evaluation of laser induced breakdown spectroscopy for the

determination of micronutrients in plant materials". **Journal of Spectrochimica Acta Part B 64,** 369–377.

Trevizan, Lilian Cristina, Dário Santos Jr., Ricardo Elgul Samad, Nilson Dias Vieira Jr. ,Cassiana Seimi Nomura, Lidiane Cristina Nunes, Iolanda Aparecida Rufini, Francisco José Krug.2008. "Evaluation of laser induced breakdown spectroscopy for the determination of macronutrients in plant materials". **Journal of Spectrochimica Acta Part B 63**, 1151–1158

Umam.,2016. **Analisis diskriminan matematika** <http://www.informatika.unsyiah.ac.id/umam/analisisdiskriminanmatematika.pdf>

United States Department of Agriculture (USDA). 2015.**Coffee:World Markets and Trade** <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/coffee.pdf>

Utomo, Aji Priyo., 2014. "Analisis Kuantitatif Unsur Logam Berat Ag, Pb, Cr Dengan Batu Zeolit Melalui *Laser Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS)". Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. **Tugas Akhir Universitas Udayana Bali**.

Wikipedia, 2016., **Monochromator** <https://en.wikipedia.org/wiki/Monochromator>

Yamani, Z., 2004. **"**Compositional Study of Different Currency Coins Using Non-Destructive Laser Induced Breakdown Spectroscopy". **Proceedings 2nd Saudi Science Conference., Faculty Science,. KAU, 15-17 March 2004.Part II**, 139-146.

BIODATA PENULIS

Penulis bernama Karina Anggraeni, dilahirkan di Karanganyar pada tanggal 27 April 1994. Memulai Sekolah Dasar di SDN 02 Bejen Karanganyar. Kemudian Penulis melanjutkan bersekolah di SMP Negeri 1 Karanganyar pada program akselerasi hingga tahun 2008. Jenjang selanjutnya, Penulis bersekolah di SMA Negeri 1 Karanganyar hingga tahun 2011. Penulis melanjutkan studi di Jurusan D3 Metrologi dan Instrumentasi Kerjasama ITB dan Kemendag RI. Penulis melanjutkan studinya di program Lintas Jalur S1 Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri ITS Surabaya. Selama terdaftar sebagai mahasiswa, penulis menjadi asisten mata kuliah teknik optik dan fisika rekayasa Laboratorium Rekayasa Fotonika. Penulis juga aktif dalam kepengurusan Laboratorium Rekayasa Fotonika Teknik Fisika ITS dan OSA ITS *Student Chapter*. Penulis juga pernah melaksanakan Kerja Praktek di Pusat Penelitian Kanker PT. CTECH LABS EDWAR TECHNOLOGY. Penulis dapat dihubungi di email karinaanggraeni27@gmail.com.