

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

Karina Anggraeni¹⁾, Dr. rer.nat. Ir. Aulia M.T Nasution, M.Sc²⁾, Dr.Hery Suyanto³⁾
 Jurusan Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)^{1,2)}, FMIPA Universitas Udayana³⁾
 Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111^{1,2)}, Jimbaran Bali³⁾
e-mail: karinaanggraeni27@gmail.com¹⁾, aulia.nasution@fulbrightmail.org²⁾, hery6@yahoo.com³⁾

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 μ s. 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* menunjukkan bahwa unsur Ca di biji kopi hijau homogen. 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.

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

I. PENDAHULUAN

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 mengeksport 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. Menurut United States Department of Agriculture (USDA) pada tahun 2015 produksi kopi di Indonesia menempati peringkat ke 4 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*. Tanaman kopi ada sekitar 60 spesies di dunia, ditinjau dari segi ekonomis spesies yang terpenting adalah kopi arabika (*Coffea arabica*) dan kopi robusta (*Coffea canephora*) (Rahardjo, 2012). Produksi kopi di Jawa Timur menempati posisi ke 4 sebesar 59.702 ton di bawah Provinsi Sumatera Selatan, Lampung, dan Bengkulu (AEKI, 2014).

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 kuantitatif sampel yang berbentuk padat, cair dan gas. LIBS ini memiliki kelebihan diantaranya spektral yang dihasilkan berulang (*repeatable*), hasilnya konsisten/reliable, sensitivitasnya tinggi dan sampel yang dibutuhkan sedikit (Yamani, 2004).

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). Pada penelitian ini, akan dilakukan analisis penciri spektral dari biji kopi hijau arabika dan robusta dengan menggunakan *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)*.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Tinjauan Pustaka

Kopi

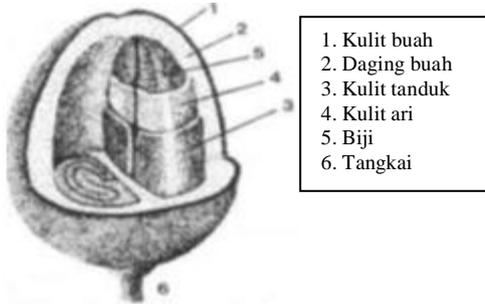
Kopi merupakan salah satu jenis tanaman perkebunan yang sudah lama dibudidayakan dan memiliki nilai ekonomis yang

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.

Buah kopi terdiri atas tiga bagian, yaitu :

1. lapisan kulit luar (exocarp)
2. lapisan daging (mesocarp)
3. lapisan kulit tanduk (endocarp)

Adapun susunan buah kopi disajikan pada Gambar 1 berikut ini :



Gambar 1. Penampang lintang buah kopi (Permentan, 2012)

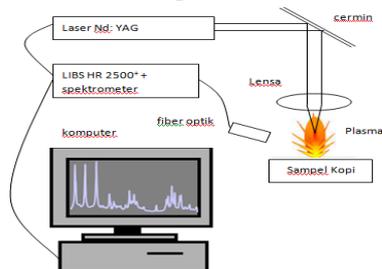
Kopi yang dibudidayakan di Indonesia secara umum ada dua jenis yaitu kopi robusta dan kopi arabika. Persyaratan kondisi iklim dan tanah optimal untuk tanaman kopi selengkapnya tercantum pada Tabel berikut.

Tabel 1. 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 ($^{\circ}$ C)	15-24	24-30
Curah hujan optimal (mm)	1500-2000	2000-4000

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.



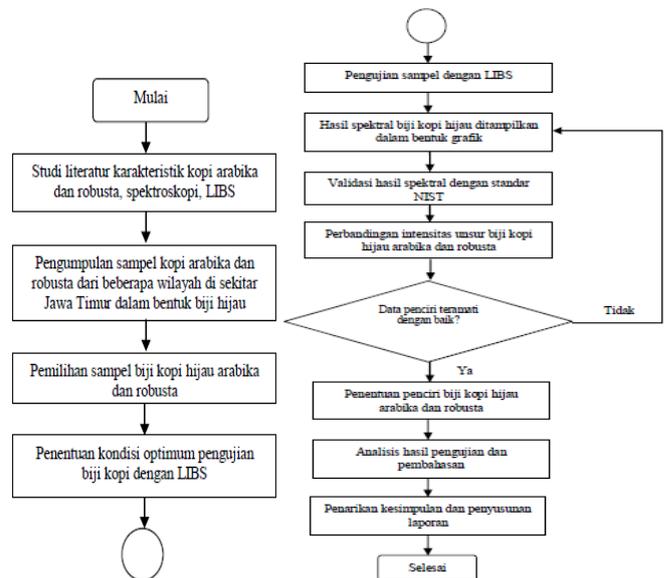
Gambar 2. Skema sederhana komponen utama LIBS

Plasma berisikan elektron-elektron, ion-ion, atom-atom netral dan atom-atom tereksitasi akibat adanya gelombang kejut (*shock wave*) yang terjadi sesaat setelah kompresi adiabatik. Dalam waktu yang sangat singkat atom-atom yang tereksitasi kembali ke keadaan awal (*ground state*) sambil

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. Intensitas menyatakan konsentrasi unsur dalam bahan dan panjang gelombang menyatakan jenis unsurnya. *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.

B. Metodologi Penelitian

Secara garis besar metodologi penelitian yang dilakukan dapat dalam pada diagram air dibawah ini.



Penentuan Kondisi Optimum Pengujian

Sampel biji kopi hijau yang digunakan adalah jenis kopi arabika dan robusta. Sebelum melakukan analisis kualitatif maupun kuantitatif sampel, maka perlu dicari kondisi optimum dari teknik LIBS adalah energi dan *delay time*.

Pengujian Sampel Menggunakan LIBS

Susunan peralatan pengujian ditunjukkan pada Gambar 2. Sistem LIBS terdiri dari spectrometer ocean optic HR 2500+, tempat sampel, Nd:YAG laser (model CRF 200 mJ, 1.064 nm, 7ns) dan perangkat lunak OOILIBS.

Pengolahan Data Hasil Pengujian

Pengolahan data spektral biji kopi hijau ditampilkan dalam bentuk grafik intensitas terhadap panjang gelombang. Dengan perangkat lunak AddLIBS diketahui unsur-unsur yang terdapat di dalam biji kopi hijau dan dilakukan validasi dengan NIST. Hasil spektral biji kopi hijau arabika dan robusta dibandingkan. Perbandingan intensitas unsur secara langsung antara biji kopi hijau arabika dan robusta untuk

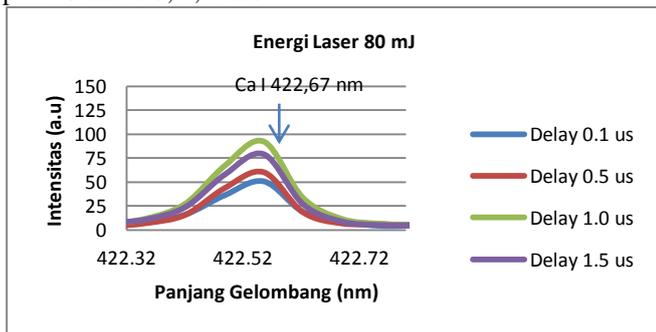
mengetahui pencirinya. Intensitas dari masing-masing unsur diperoleh dengan menghitung luasan area dengan rumus integral pada tiap puncak emisi spektrum dari unsur. Apabila dari perbandingan intensitas unsur secara langsung belum diketahui pencirinya, maka akan dilakukan analisis dan pengolahan data dengan metode DFA (*Discriminant Function Analysis*) untuk mengetahui secara lebih jelas penciri antara kedua varietas kopi tersebut.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

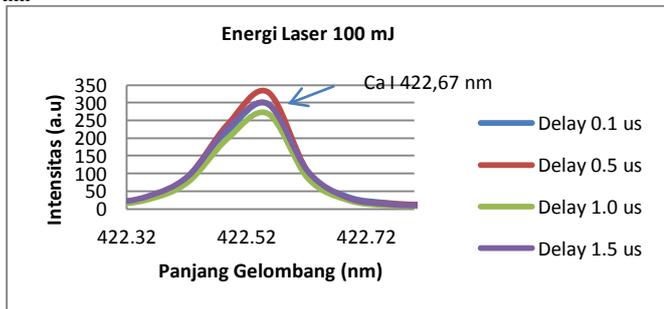
Pada penelitian ini digunakan biji kopi hijau arabika dan robusta yang berasal dari berbagai daerah di Jawa Timur (Malang, Bondowoso, Pasuruan dan Prigen). Biji kopi hijau ini langsung diuji dengan LIBS tanpa mendapatkan perlakuan awal (*pretreatment*) terlebih dahulu.

3.1 Karakterisasi Delay Time Detection dan Energi Laser pada LIBS

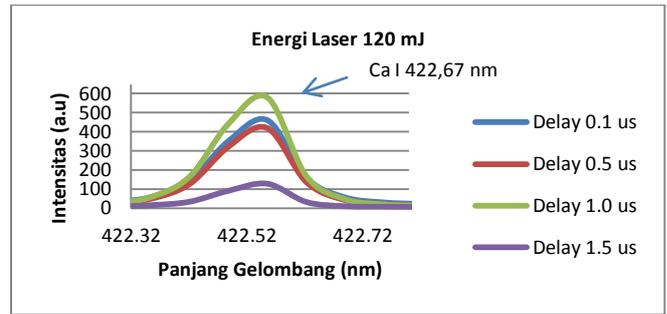
Karakterisasi *delay time detection* dan energi laser pada penelitian ini dilakukan untuk memperoleh kondisi optimum pengujian pada sampel organik berupa biji kopi. Kondisi optimum akan menghasilkan sinyal latar (*background*) rendah dan sinyal intensitas emisi tinggi. Untuk mengurangi signal *background* tinggi yaitu dengan mengatur *delay time detection* yang kemudian dianalisis melalui emisi unsur Ca dan diplot pada Gambar 3, 4, dan 5.



Gambar 3. 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. Spektra biji kopi arabika dengan berbagai *delay time detection* pada energi laser 100 mJ dan pada daerah panjang gelombang 422,32-422,72 nm



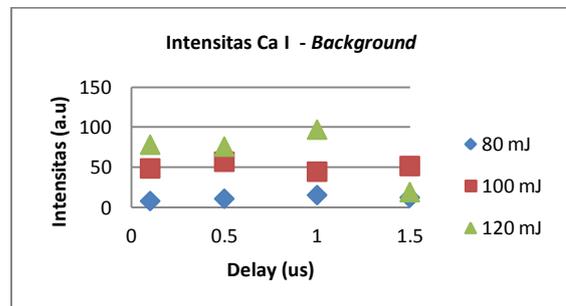
Gambar 5. Spektra biji kopi arabika dengan berbagai *delay time detection* pada energi laser 120 mJ dan pada daerah panjang gelombang 422,32-422,72 nm

Gambar 3, 4, dan 5 merupakan spektrum dari emisi unsur netral Ca (I) untuk energi laser 80 mJ, 100 mJ dan 120 mJ dengan *delay time detection* 0,1 μ s, 0,5 μ s, 1 μ s, dan 1,5 μ s. Berdasarkan data pada gambar tersebut bahwa energi laser 120 mJ menghasilkan intensitas paling tinggi dibandingkan yang energi lainnya. 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 3, 4 dan 5, 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 ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 6.

Tabel 2. Intensitas Ca (I) dikurangi *background* pada biji hijau kopi untuk berbagai energi laser

Energi 80 mJ	Delay 0.1 μ s	Delay 0.5 μ s	Delay 1.0 μ s	Delay 1.5 μ s
Intensitas Ca (I) - Bg	7.979133	10.8551	15.3726	12.2728
Energi 100 mJ	Delay 0.1 μ s	Delay 0.5 μ s	Delay 1.0 μ s	Delay 1.5 μ s
Intensitas Ca (I) - Bg	48.5276	56.8723	44.5027	51.5195
Energi 120 mJ	Delay 0.1 μ s	Delay 0.5 μ s	Delay 1.0 μ s	Delay 1.5 μ s
Intensitas Ca (I) - Bg	78.0532	75.6733	96.8096	19.0807



Gambar 6. Grafik intensitas Ca (I) dikurangi intensitas *background* pada biji kopi hijau

Dari data Tabel 2 dan Gambar 6 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. Seiring dengan perjalanan waktu, volume plasma bertambah besar dan konsentrasi partikelnya sudah menurun yang sebagai akibatnya *signal background*nya menurun juga. Berdasarkan Gambar 6, 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 3.

Tabel 3. FWHM

Energi	Delay (μs)	Intensitas Puncak	Spektrum (nm)	FWHM
120 mJ	0,1 μs	460,4442	422,42-422,62	0,20
120 mJ	0,5 μs	419,2222	422,42-422,63	0,21
120 mJ	1,0 μs	580,8889	422,43-422,61	0,18
120 mJ	1,5 μs	126,6664	422,35-422,69	0,34

Dari data Tabel 3, 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 .

3.2 Analisis Kualitatif Unsur Biji Kopi Hijau Arabika dan Robusta

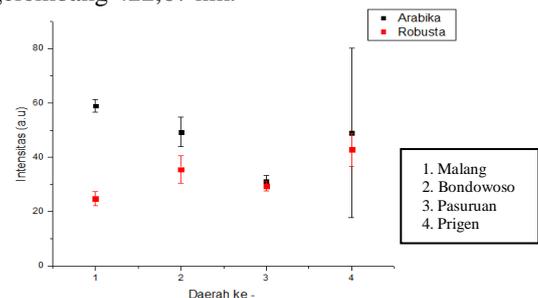
Pada biji kopi hijau arabika maupun robusta mengandung unsur Ca, W, Sr, Mg, Be, Na, H, N, K, Rb dan O.

Tabel 4. Data Unsur yang terkandung pada biji kopi hijau

Unsur	Panjang Gelombang (nm)	Unsur	Panjang Gelombang (nm)
Ca(II)	396.7100365	Mg(I)	518.2626059

Ca(I)	422.5549519	Be(I)	526.9227049
Ca(I)	443.3713954	Na(I)	588.8928568
Ca(I)	445.3185586	Na(I)	589.5021065
Ca(I)	558.7668446	Sr(I)	460.605
Ca(I)	612.1364148	H(I)	656.1509885
Ca(I)	616.1374022	N(I)	744.1906915
Ca(I)	646.101034	K(I)	766.4968635
Ca(I)	649.2403987	K(I)	769.918176
Ca(I)	854.1255822	Rb(I)	780.0279656
Ca(II)	866.160033	O(I)	777.2091226
W(I)	430.099582		

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 pada panjang gelombang 422,67 nm beserta standar deviasinya pada semua sampel. Ca 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 7. Kandungan unsur Ca pada biji kopi hijau arabika dan robusta

Tabel 5. Kandungan unsur Ca 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 5 menunjukkan nilai intensitas area unsur Ca 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.

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.

3.3 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.

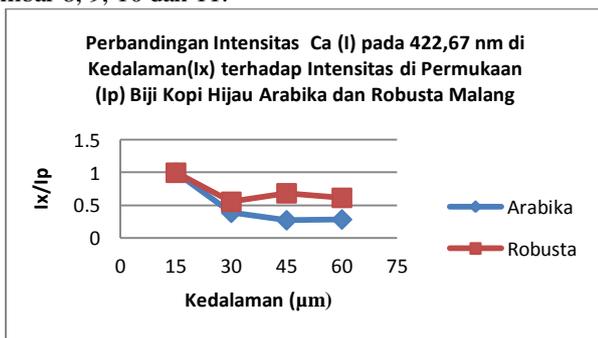
Berdasarkan pengolahan data dengan SPSS, dari nilai *canonical discriminant function coefficients* dapat disusun fungsi diskriminannya. Fungsi diskriminan untuk kasus biji kopi hijau arabika dan robusta adalah :

$$D = 4.631 + (-0,285 \times \text{Intensitas Ca}) + (0,269 \times \text{Intensitas W}) + (0,083 \times \text{Intensitas Mg}) + (0,034 \times \text{Intensitas Be}) + (0,096 \times \text{Intensitas Na}) + (0,087 \times \text{Intensitas Sr}) \quad (1)$$

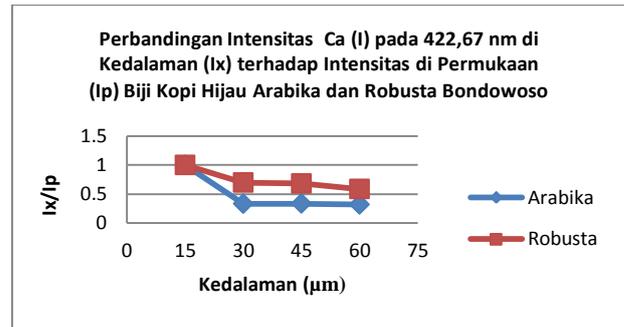
Dari hasil diskriminan ini dapat disimpulkan bahwa unsur yang membedakan biji kopi hijau arabika dan robusta adalah Ca, W, Mg, Be, Na, dan Sr. Penerapan dari hasil *function at group centroid* dengan SPSS adalah bila ada sampel sembarang kopi dianalisis dengan LIBS dan diperoleh intensitas dari unsur-unsur 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.

3.4 Analisis Homogenitas Unsur Biji Kopi Hijau

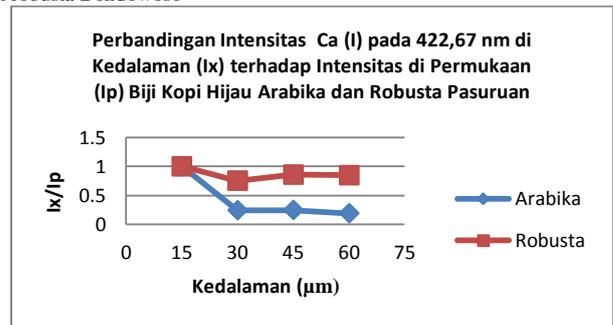
Depth profile adalah suatu metode dalam LIBS yang digunakan untuk menganalisis homogenitas unsur pada tiap sampel biji kopi hijau di tiap daerah. Eksperimen dilakukan dengan menembakan (shot) laser sebanyak 3 kali yang kemudian datanya dirata-rata dan penembakan pada tempat yang sama di sampel pada kedalaman 15 μm , 30 μm , 45 μm dan 60 μm . Untuk penelitian ini, unsur yang akan diuji homogenitasnya adalah Ca (I) yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 8, 9, 10 dan 11.



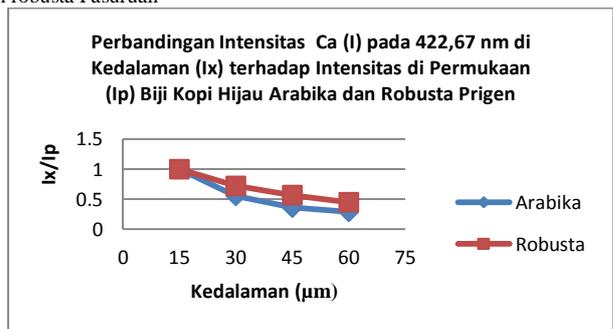
Gambar 8. Homogenitas unsur Ca (I) pada 422,67 nm biji kopi hijau arabika dan robusta Malang



Gambar 9. Homogenitas unsur Ca (I) pada 422,67 nm biji kopi hijau arabika dan robusta Bondowoso

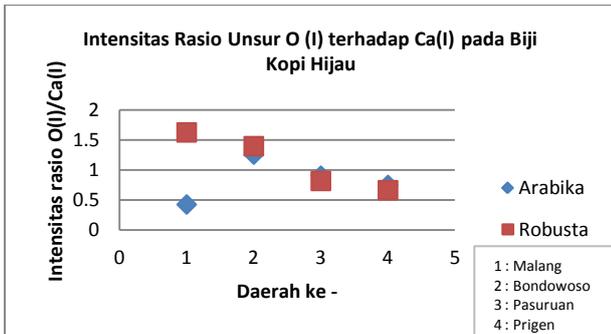


Gambar 10. Homogenitas unsur Ca (I) pada 422,67 nm biji kopi hijau arabika dan robusta Pasuruan



Gambar 11. Homogenitas unsur Ca (I) pada 422,67 nm biji kopi hijau arabika dan robusta Prigen

Hasil pengujian *depth profile* menunjukkan bahwa Ca di permukaan biji kopi hijau sangat banyak dibandingkan di bagian dalam dan secara umum homogen. Ini dibuktikan, setelah penembakan pertama (0-15 μm) unsur Ca menurun tajam, sedangkan setelah penembakan ke 2 hingga penembakan ke 4 (30-60 μm) 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 11 menunjukkan 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 12. Emisi dari atom oksigen digunakan sebagai indikator air terutama karena proporsi oksigen jauh lebih tinggi di dalam air (Liu, Y., 2012).



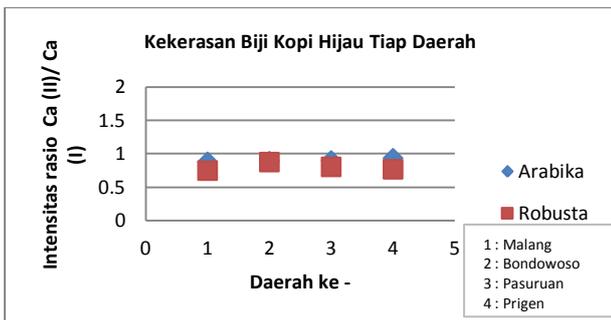
Gambar 12. Intensitas rasio unsur O (I) terhadap Ca (I) pada biji kopi hijau

3.5 Analisis Tingkat Kekerasan Biji Kopi Hijau Arabika dan 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). Nilai intensitas emisi Ca (I) dan Ca (II) dari biji kopi hijau arabika dan robusta dapat diperoleh seperti pada Tabel 6 dan di grafik pada Gambar 13.

Tabel 6. 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 13. Tingkat kekerasan biji hijau kopi tiap daerah

Data dari Gambar 13, menunjukkan 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.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan dapat dirumuskan beberapa poin kesimpulan dalam pelaksanaan tugas akhir ini adalah telah dilakukan identifikasi unsur yang terkandung dalam biji kopi hijau arabika dan robusta dengan menggunakan *Laser Induced Breakdown Spectroscopy*

(LIBS). Dari spektral yang dihasilkan dapat diketahui unsur yang membedakan jenis kopi arabika dan robusta. Selain itu, dapat diketahui pula homogenitas unsur utama Ca (I) dan tingkat kekerasan pada kedua jenis kopi tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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>>
- [2] 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>
- [3] David A. Cremers, Leon J Radziemski. 2013. Handbook Laser Induced Breakdown Spectroscopy. USA : John Wiley & Sons, Ltd.
- [4] Direktorat Jendral Perkebunan, Kementerian Pertanian. 2012., Peraturan Menteri Pertanian Nomor 52/Permentan/OT.140/9/2012 Tentang Pedoman Penanganan Pascapanen Kopi.
- [5] International Coffee Organization (ICO). 2014. Arabica and Robusta, <<http://www.ico.org/>>
- [6] Kaiser, J., Karel, N., Madhavi, Z. M., Ales, H., Radomir, M., Martin H., Votjeh A., Rene K., 2012. "Trace elemental analysis by laser-induced breakdown spectroscopy-Biological applications," Journal of Surface Science Reports 67, 233–243.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Rahardjo, Pudji., 2012. Panduan Budidaya dan Pengolahan Kopi Arabika dan Robusta. Jakarta : Penebar Swadaya.
- [10] 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.
- [11] 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
- [12] United States Department of Agriculture (USDA). 2015. Coffee: World Markets and Trade <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/coffee.pdf>>
- [13] 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.
- [14] 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.