



TUGAS AKHIR-TF141581

**PENENTUAN KADAR KANDUNGAN AIR PADA
BIJI KOPI ARABIKA DENGAN TEKNIK
*LASER-INDUCED BREAKDOWN
SPECTROSCOPY (LIBS)***

**PRAMA EKO WICAKSONO
NRP 0231114000071**

**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 2018**



FINAL PROJECT-TF141581

**DETERMINATION OF MOISTURE
CONTENT IN ARABICA COFFEE BEANS
USING LASER-INDUCED BREAKDOWN
SPECTROSCOPY (LIBS)**

PRAMA EKO WICAKSONO
NRP 0231114000071

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 2018

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Prama Eko Wicaksono

NRP : 0231114000071

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul **“PENENTUAN KADAR KANDUNGAN AIR PADA BIJI KOPI ARABIKA DENGAN TEKNIK *LASER-INDUCED BREAKDOWN SPECTROSCOPY (LIBS)*”** adalah bebas plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 23 Juli 2018
Yang membuat pernyataan,



Prama Eko Wicaksono
NRP. 0231114000071

Halaman ini memang dikosongkan

**PENENTUAN KADAR KANDUNGAN AIR PADA BIJI
KOPI ARABIKA DENGAN TEKNIK *LASER-INDUCED
BREAKDOWN SPECTROSCOPY (LIBS)***

TUGAS AKHIR

Oleh :

PRAMA EKO WICAKSONO
NRP : 02311140000071

Surabaya, 23 Juli 2018
Mengetahui/Menyetujui,

Pembimbing I

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

Pembimbing II

Dr. Hery Suyanto
NIP. 19630421 199003 1 015

Ketua Jurusan



Agus Meliand Hetta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIP. 19780902 200312 1 002

Halaman ini memang dikosongkan

**PENENTUAN KADAR KANDUNGAN AIRPADA BIJI
KOPI ARABIKA DENGAN TEKNIK *LASER-INDUCED
BREAKDOWN SPECTROSCOPY (LIBS)***

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

PRAMA EKO WICAKSONO

NRP : 0231114000071

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr.rer.nat.Ir. Aulia M. T. Nasution, M.Sc.(Pembimbing I)
2. Dr. Hery Suyanto (Pembimbing II)
3. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc. (Penguji I)
4. Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. (Penguji II)
5. Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T. (Penguji III)

Surabaya, 23 Juli 2018

Halaman ini memang dikosongkan

PENENTUAN KADAR KANDUNGAN AIR PADA BIJI KOPI ARABIKA DENGAN TEKNIK *LASER-INDUCED BREAKDOWN SPECTROSCOPY* (LIBS)

Nama Mahasiswa :Prama Eko Wicaksono
NRP :0231114000071
Jurusan :Teknik Fisika FTI – ITS
Dosen Pembimbing I :Dr. rer. nat. Ir. Aulia M. T. N., M.Sc.
Dosen Pembimbing II :Dr. Hery Suyanto

Abstrak

Penentuan kadar air biji kopi merupakan salah satu tolak ukur proses pengeringan agar diperoleh mutu hasil yang baik dan biaya pengeringan yang murah. Pengeringan yang berlebihan (hingga kadar air jauh di bawah 12%) merupakan pemborosan bahan bakar dan merugikan karena terjadi kehilangan berat. Sebaliknya jika terlalu singkat maka kadar air biji kopi belum mencapai titik keseimbangan (12%) sehingga biji kopi menjadi rentan terhadap serangan jamur pada saat disimpan atau diangkut ke tempat konsumen (Prastowo, dkk. 2010). Pada proses penyangraian biji kopi kehilangan kadar air sebesar 3-5% untuk *light roasted*, 5-8% untuk *medium roasted*, dan 8-14% untuk *dark roasted* (Varnam and Sutherland,1994). Pada umumnya pengukuran kadar air biji kopi dilakukan dengan metode oven (AOAC, 1984) atau menggunakan alat ukur *grain moisture meter*. Metode oven memerlukan waktu preparasi sampel yang lama sedangkan *grain moisture meter* (MC-7828G) kurang sensitif pada rentang pengukuran kadar air di bawah 5% (Digital Instrument Catalog). Berdasarkan hal tersebut telah dikembangkan metode penentuan kadar air pada biji kopi arabika dengan teknik LIBS (*Laser-Induced Breakdown Spectroscopy*). Berdasarkan data penelitian didapatkan kondisi optimum pengujian pada energi laser 100 mJ dan *delay-time detection* 0.5 μ s. Digunakan gas He (helium) dengan laju aliran 20 mL/s sebagai lingkungan pengujian. Pengujian dilakukan pada 4 kelompok sampel dengan kadar air 2.51%, 3.02%, 7.18%, dan 11.69%. Dari hasil penelitian, kadar air pada biji kopi arabika dapat ditentukan dengan cara memasukkan nilai rasio intensitas emisi unsur H/O dari hasil pengujian LIBS ke dalam persamaan regresi linear $Y = -1.861X + 24.66$ dimana X adalah rasio intensitas emisi unsur H/O dan Y adalah kadar air biji kopi

Arabika (%). Nilai kadar air 2.5% ditunjukkan dengan nilai rasio intensitas emisi unsur H/O sebesar 11.90867648 dan nilai kadar air 11.7% ditunjukkan dengan nilai rasio intensitas emisi unsur H/O sebesar 6.965937896. Setiap peningkatan kadar air sebesar 0.1% setara dengan penurunan rasio intensitas emisi unsur H/O sebesar 0.053725419. Didapatkan nilai koefisien korelasi (R) -0.99779 , koefisien determinasi (R^2) 0.995584965 , dan kesalahan standard estimasi (Se) 0.245914303 . Nilai Se menunjukkan bahwa akurasi penentuan kadar air dengan teknik LIBS adalah $\pm 0.25\%$ sedangkan akurasi *grain moisture meter* (MC-7828G) adalah $\pm 0.5\%$. Hal ini menunjukkan bahwa teknik LIBS memiliki akurasi yang lebih tinggi dalam penentuan kadar air dibandingkan dengan *grain moisture meter* (MC-7828G).

Kata Kunci: Biji Kopi Arabika, LIBS, Penentuan Kadar Air

DETERMINATION OF MOISTURE CONTENT IN ARABICA COFFEE BEANS USING LASER-INDUCED BREAKDOWN SPECTROSCOPY (LIBS)

Student's Name : Prama Eko Wicaksono
NRP : 0231114000071
Department : Engineering Physics FTI - ITS
Supervisor I : Dr. rer. nat. Ir. Aulia M. T. N., M.Sc.
Supervisor II : Dr. Hery Suyanto

Abstract

Determination of moisture content of coffee beans is one measure of drying process in order to obtain the quality of good results and cheap drying costs. Excessive drying (up to a moisture content below 12%) is a waste of fuel and is detrimental due to severe loss. Conversely, if too short then the moisture content of coffee beans has not reached the point of balance (12%) so that coffee beans are susceptible to fungal attacks when stored or transported to the consumer (Prastowo, et al. 2010). In the process of roasting coffee beans lose 3-5% moisture content for light roasted, 5-8% for medium roasted, and 8-14% for dark roasted (Varnam and Sutherland, 1994). In general, the measurement of moisture content of coffee beans is done by oven method (AOAC, 1984) or using a grain moisture meter. The oven method requires a long sample preparation time while the grain moisture meter (MC-7828G) is less sensitive in the moisture content range below 5% (Digital Instrument Catalog). Based on that, the method of determination of moisture content in arabica coffee beans using LIBS (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy) technique have been developed. Based on the research data, the optimum condition of the test at 100 mJ laser energy and delay-time detection is 0.5 μ s. This research used He (helium) gas with flow rate of 20 mL/s as the test environment. Tests were conducted on 4 groups of samples with moisture content of 2.51%, 3.02%, 7.18%, and 11.69%. From the research result, moisture content in arabica coffee beans can be determined

by entering the value of H/O emission intensity ratio from LIBS test result into linear regression equation $Y = -1.861X + 24.66$ where X is the H/O emission intensity ratio and Y is the moisture content of arabica coffee beans (%). 2.5% moisture content value is indicated by the value of H/O emission intensity ratio of 11.90867648 and 11.7% moisture content value is indicated by the value of H/O emission intensity ratio of 6.965937896. A 0.1% increase in moisture content is equivalent to a decrease in the value of H/O emission intensity ratio of 0.053725419. The correlation coefficient (R) -0.99779, coefficient of determination (R^2) 0.995584965, and standard error estimation (Se) 0.245914303 were obtained. Se value shows that the accuracy of determination of moisture content with LIBS technique is $\pm 0.25\%$ while grain moisture meter accuracy (MC-7828G) is $\pm 0.5\%$. This suggests that the LIBS technique has a higher accuracy in the determination of moisture content compared to the grain moisture meter (MC-7828G).

Keywords: Arabica Coffee Beans, LIBS, Determination of Water Content

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga laporan Tugas Akhir yang berjudul “Penentuan Kadar Kandungan Air pada Biji Kopi Arabika dengan Teknik *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS)” dapat diselesaikan. Penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan serta bimbingan berbagai pihak. Atas bantuan tersebut penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T. ,M.Si., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS.
2. Bapak Dr.rer.nat.Ir. Aulia M. T. Nasution, M.Sc., selaku Pembimbing I.
3. Bapak Dr. Hery Suyanto, selaku Pembimbing II.
4. Bapak Prof. Dr. Ir.Sekartedjo, M.Sc., selaku Ketua Laboratorium Rekayasa Fotonika.
5. Bapak Ir. Matradji, M.Sc., selaku dosen wali.
6. Seluruh dosenTeknikFisika ITS.
7. Ibu N.Sri Laela dan Bapak Joni Rokhmat, selaku orang tua yang selalu memberikan dukungan dan doa terbaik.
8. Teman-teman Teknik Fisika ITS angkatan 2011, selaku teman seperjuangan.
9. Asisten Laboratorium Rekayasa Fotonika.
- 10.Serta seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis senantiasa terbuka akan saran dan kritik sebagai sarana perbaikan. Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dikembangkan lebih lanjut.

Surabaya, 23 Juli 2018

Penulis

Halaman ini memang dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah	4
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Kopi Arabika	5
2.2 Kadar Air	7
2.3 Grain Moisture Meter	9
2.4 LIBS.....	11
2.5 Laser Nd:YAG.....	14
2.6 Interaksi Laser dengan Sampel Padat	16
2.7 Spektrometer.....	18
2.8 Unsur C, H, O, dan Ca serta Rasio Intensitas H/O	19
2.9 Regresi Linear.....	21
BAB II METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Alat dan Bahan	27
3.2 Pengumpulan Sampel	27
3.3 Pengondisian Sampel	34
3.4 Penentuan Kondisi Optimum Pengujian.....	36
3.5 Pengujian Menggunakan LIBS.....	36
3.6 Pengukuran Kadar Air dengan Moisture Meter.....	38

3.7	Perhitungan Intensitas Emisi Unsur	39
3.8	Penentuan Kadar Air Biji Kopi.....	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		41
4.1	Karakterisasi Pengujian.....	41
4.2	Intensitas Emisi Unsur	44
4.2.1	Intensitas Emisi Unsur C.....	45
4.2.2	Intensitas Emisi Unsur H.....	46
4.2.3	Intensitas Emisi Unsur O.....	47
4.2.3	Intensitas Emisi Unsur Ca	48
4.3	Pengukuran Kadar Air	49
4.4	Rasio Intensitas Unsur H/O	50
4.5	Penentuan Kadar Air pada Biji Kopi	51
BAB V PENUTUP		61
5.1	Kesimpulan	61
5.2	Saran	62
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Biji Kopi	6
Gambar 2.2 MC-7828G Moisture Meter	9
Gambar 2.3 Skema LIBS (Kim and Lin. 2012)	11
Gambar 2. 4 Perambatan Energi Laser Pada Kondisi Breakdown (a) Efek focusing dan (b) Efek Pulsa (Kim, dkk., 2012)	12
Gambar 2.5 Pengaturan time delay detection(Cremers,dkk.,2013)	13
Gambar 2.6 Insight 115111-R LIBS	14
Gambar 2.7 Komponen Utama Laser	15
Gambar 2.8 Laser Nd:YAG	16
Gambar 2.9 Level Energi Laser Nd:YAG	16
Gambar 2.10 Pembentukan Hemispheric Plasma Pada Sampel	17
Gambar 2.11 Desain Spektrometer Echelle	19
Gambar 3.1 Proses Pengolahan Kopi oleh Pemasok	29
Gambar 3.2 (a) Panen Buah Kopi (b) Perambangan.....	30
Gambar 3.3 Pengupasan (Pulping)	30
Gambar 3.4 Pengeringan (Drying).....	31
Gambar 3.5 Pengupasan Kulit Tanduk (Hulling)	32
Gambar 3.7 Kemasan Biji Kopi.....	33
Gambar 3.6 Proses Pengolahan Biji Kopi oleh Produsen	33
Gambar 3.8 Penyegelelan Sampel	34
Gambar 3.9 Pemanasan Sampel.....	35
Gambar 3.10 Toples Vacuum dan Pompa Vacuum.....	35
Gambar 3.11 Skema Pengujian Menggunakan LIBS	37

Gambar 3.12 Pengukuran dengan Moisture Meter	38
Gambar 3.13 Intensitas Area Pada Origin	39
Gambar 4.1 Spektrum Unsur Ca 422,67 dengan Variasi Energi Laser 100 mJ dan 120 mJ Tanpa Gas He	42
Gambar 4.2 Spektrum Unsur Ca 422,67 pada Energi Laser 100 mJ dengan Variasi Debit Gas He.....	42
Gambar 4.3 Hasil Pengukuran Kadar Air	50
Gambar 4.4 Grafik Kadar Air dan Intensitas Unsur C.....	51
Gambar 4.5 Regresi Linear Unsur C.....	52
Gambar 4.6 Grafik Kadar Air dan Intensitas Unsur H.....	53
Gambar 4.7 Regresi Linear Unsur H	53
Gambar 4.8 Grafik Kadar Air dan Intensitas Unsur O.....	54
Gambar 4.9 Regresi Linear Unsur O	54
Gambar 4.10 Grafik Kadar Air dan IntensitasUnsur Ca 396.85....	55
Gambar 4.11 Regresi Linear Unsur Ca 396.85	55
Gambar 4.12 Grafik Kadar Air dan Intensitas Unsur Ca 422.67...	56
Gambar 4.13 Regresi Linear Unsur Ca 422.67	56
Gambar 4.14 Grafik Kadar Air dan Rasio Intensitas H / O	57
Gambar 4.15 Regresi Linear Rasio Intensitas H / O.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Grain Moisture Meter (Digital Instrument Catalog)	10
Tabel 2.2 Kode, Tipe Biji-bijian, dan Range Pengukuran MC-7828G (Digital Instrument Catalog).....	10
Tabel 3.1 Standar Kadar Air Biji Kopi (Varnam and Sutherland, 1994; Hasil Wawancara Produsen Kopi)	40
Tabel 4.1 Perbandingan Intensitas Emisi Unsur pada Variasi Energi Laser 100 mJ dan 120 mJ	43
Tabel 4.2 Perbandingan Intensitas Emisi Unsur pada Variasi Debit Gas He0 mL/s, 20 mL/s, dan 40 mL/s.....	43
Tabel 4.3 Intensitas Emisi Unsur C	45
Tabel 4.4 Intensitas Emisi Unsur H.....	47
Tabel 4.5 Intensitas Emisi Unsur O.....	47
Tabel 4.6 Intensitas Emisi Unsur Ca	49
Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Kadar Air.....	49
Tabel 4.8 Rasio Intensitas Unsur H/O	51
Tabel 4.9 Analisa Regresi Linear	58
Tabel 4.10 Error Estimasi Kadar Air.....	59

Halaman ini memang dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara maritim sekaligus agraris sehingga sektor perikanan dan pertanian perlu diperhatikan untuk menopang perekonomian rakyat. Sektor pertanian terdiri dari berbagai jenis komoditas yang memiliki nilai jual tinggi, salah satunya adalah biji kopi. Berdasarkan data USDA tahun 2015 (*United States Department of Agriculture*) di kawasan ASEAN Indonesia merupakan produsen dan eksportir kopi terbesar kedua setelah Vietnam sedangkan di dunia Indonesia menempati peringkat keempat setelah Brazil, Vietnam, dan Kolombia. Berdasarkan data Ditjen Perkebunan produksi kopi Indonesia tahun 2014 tercatat sebesar 643.857 ton. Produksi ini berasal dari 1.230.495 ha luas area perkebunan kopi dimana 96,19% diantaranya merupakan perkebunan rakyat (PR) sementara sisanya merupakan perkebunan besar milik swasta (PBS) sebesar 1,99% dan perkebunan besar milik Negara (PBN) sebesar 1,82%. Ditinjau dari jenis kopi yang ditanam, produksi kopi di Indonesia tahun 2014 dari 643.857 ton yang dihasilkan sebesar 73,57% atau 473.672 ton adalah jenis kopi robusta dan 26,43% atau 170.185 ton adalah jenis kopi arabika. Walaupun jumlah produksi kopi arabika di Indonesia masih lebih sedikit dibandingkan kopi robusta namun kopi arabika memiliki nilai jual yang lebih tinggi yaitu 2-3 kali lipat dari kopi robusta. Selain harga jual yang lebih tinggi dibandingkan spesies kopi lainnya, tingkat konsumsi kopi arabika juga merupakan yang tertinggi di dunia. Angka konsumsi kopi dunia 70% berasal dari spesies kopi arabika, 26% berasal dari spesies kopi robusta dan sisanya 4% berasal dari spesies kopi liberika (Siswoputranto, 1992). Hal ini dikarenakan kopi arabika memiliki citarasa yang khas dan berbeda-beda tergantung dari kondisi lingkungan penanamannya.

Untuk menjaga kualitas kopi arabika hingga ke tangan konsumen diperlukan penanganan khusus mulai dari tahap panen hingga tahap pengemasan. Salah satu yang menjadi tolak ukur

penting dalam menjaga kualitas kopi adalah nilai kadar air. Pada tahap panen, penyimpanan, sangrai hingga pengemasan akhir nilai kadar air biji kopi perlu diatur dan dijaga pada nilai tertentu agar biji kopi tidak mengalami kerusakan (pembusukan, berkembangbiaknya bakteri, dan tumbuhnya jamur) serta perubahan citarasa. Pada tahap penyimpanan biji kopi perlu dikeringkan hingga mencapai nilai kadar air 12% (Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, 2008). Penentuan kadar air biji kopi merupakan salah satu tolak ukur proses pengeringan agar diperoleh mutu hasil yang baik dan biaya pengeringan yang murah. Pengeringan yang berlebihan (hingga kadar air jauh di bawah 12%) merupakan pemborosan bahan bakar dan merugikan karena terjadi kehilangan berat. Sebaliknya jika terlalu singkat maka kadar air biji kopi belum mencapai titik keseimbangan (12%) sehingga biji kopi menjadi rentan terhadap serangan jamur pada saat disimpan atau diangkut ke tempat konsumen (Prastowo, dkk. 2010). Kemudian biji kopi diolah dengan cara disangrai hingga kehilangan kadar air sebesar 3-5% untuk *light roasted*, 5-8% untuk *medium roasted*, dan 8-14% untuk *dark roasted* (Varnam and Sutherland, 1994). Pengukuran kadar air biji kopi secara umum dilakukan menggunakan 2 prinsip kerja yaitu termogravimetri/metode oven (AOAC, 1984) dan konduktometri. Termogravimetri/metode oven (AOAC, 1984) dilakukan dengan cara mengukur selisih berat basah dan berat kering dari biji kopi sedangkan konduktometri mengukur kadar air berdasarkan konduktivitas dan hantaran listrik pada biji kopi. Termogravimetri/metode oven (AOAC, 1984) memerlukan persiapan khusus pada sampel sehingga memerlukan waktu yang cukup lama. Contoh konduktometri adalah pada alat grain moisture meter. Alat ini sudah bersifat *portable* dan memiliki ketelitian yang tinggi namun masih memiliki kekurangan yaitu pada *range* pengukurannya. Contohnya adalah pada alat MC-7825G untuk biji kopi (whole coffee) memiliki range optimum pengukuran kadar air 7-31% dan pada alat MC-7828G memiliki range 5-33,5% (Digital Instrument, Grain Moisture Meter Catalog). Alat-alat tersebut sebenarnya mampu mengukur pada

range yang lebih lebar contohnya pada alat *Grain Moisture Meter* MC-7828G mampu mengukur dari 0% hingga 50% namun alat tersebut memiliki spesifikasi range sensitivitas pengukuran yang berbeda-beda pada tiap jenis biji-bijian.

Salah satu metode alternatif pengukuran kadar air adalah metode spektroskopi. Teknik spektroskopi adalah teknik yang digunakan untuk mengetahui interaksi cahaya ketika mengenai suatu material sehingga diperoleh informasi kandungan dari material tersebut (Gauglitz, 2003). Saat proses penyangraian biji kopi akan terjadi perubahan komposisi unsur serta senyawa pada biji kopi sehingga dari perubahan tersebut dapat diketahui nilai kadar air dari biji kopi. Teknik spektroskopi yang digunakan adalah teknik LIBS (*Laser Induced Breakdown Spectroscopy*). Teknik ini berdasarkan pada analisis emisi plasma yang dihasilkan dengan cara memfokuskan laser pulsa berdaya tinggi pada sampel pada kondisi tekanan atmosfer (Corsi, dkk.,2002). Dengan teknik ini, dapat dilakukan pengujian yang akurat, bersifat tidak merusak, dan dapat dilakukan pengontrolan karakteristik suatu sampel (Puspa Wirani, Ayu., 2016). Pada tahun 2012 telah dilakukan penelitian mengenai hubungan antara sinyal LIBS dengan kadar air oleh Yuan Liu dkk. Pada penelitian tersebut dilakukan pengujian menggunakan sampel berupa keju kuning amerika. Penelitian tersebut menunjukkan keterkaitan antara perubahan nilai kadar air dengan perubahan nilai intensitas emisi unsur oksigen. Pada penelitian kali ini akan dilakukan pengujian untuk menentukan nilai kadar air pada biji kopi arabika dengan teknik LIBS berdasarkan intensitas emisi unsur hidrogen, oksigen, karbon, kalsium dan atau rasio intensitas emisi unsur hidrogen dan oksigen.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan dari penelitian ini adalah bagaimana melakukan penentuan kadar air biji kopi arabika berdasarkan intensitas emisi unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), kalsium (Ca) dan atau rasio intensitas emisi unsur hidrogen

(H)/oksigen (O) menggunakan teknik *Laser Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS).

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan kadar air pada biji kopi arabika berdasarkan intensitas emisi unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), kalsium (Ca) dan atau rasio intensitas emisi unsur hidrogen (H)/oksigen (O) menggunakan teknik *Laser Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS).

1.4 Batasan Masalah

Dikarenakan keterbatasan waktu dan sumber daya penelitian yang dimiliki oleh penulis maka dalam penelitian tugas akhir ini ditetapkan beberapa batasan masalah, yaitu:

- a. Biji kopi yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji kopi mentah jenis arabika siap sangrai dari produsen Etnic Lombok Coffee dengan nilai kadar air awal sebesar sekitar $\pm 12\%$.
- b. Teknik yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik *Laser Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS).
- c. Validasi dilakukan menggunakan alat ukur MC-7828G Moisture Meter.
- d. Pengkondisian pada sampel dilakukan dengan memvariasikan tingkat kekeringan berdasarkan lama waktu pengeringan yaitu 0 jam (tidak dikeringkan), 10 jam, 20 jam, dan 30 jam.
- e. Pengeringan sampel dilakukan menggunakan sumber panas berupa lampu pijar dengan daya sebesar 75 Watt.
- f. Intensitas emisi unsur yang dianalisa dalam menentukan kadar air pada biji kopi arabika adalah pada unsur C (I) pada panjang gelombang 247.85612 nm, H (I) pada panjang gelombang 656.2725 nm, O (I) pada panjang gelombang 777.1940 nm, Ca (II) pada panjang gelombang 396.8467 nm, dan Ca (I) pada panjang gelombang 422.6727 nm.

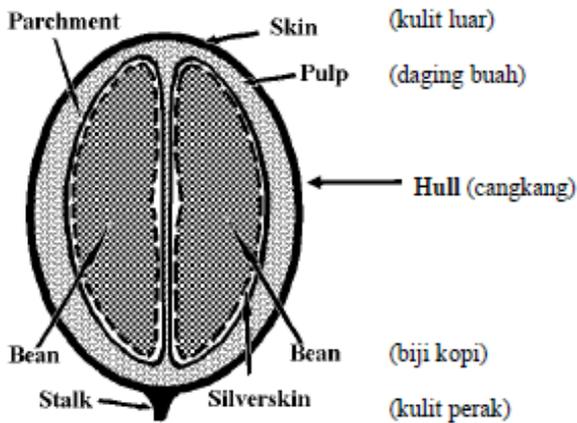
BAB II

DASAR TEORI

2.1 Kopi Arabika

Kopi arabika merupakan spesies tumbuhan kopi yang pertama kali dibudidayakan. Tumbuhan ini berasal dari dataran tinggi Ethiopia kemudian dibawa dan dikembangkan oleh bangsa Arab di Yaman. Pada abad ke-17 orang-orang eropa membawa tumbuhan ini ke Jawa dan Brazil hingga akhirnya menyebar ke berbagai belahan dunia. Pohon kopi arabika berbentuk perdu, ketinggiannya sekitar 2-3 meter namun bila tidak dipangkas bisa mencapai 5 meter. Bunganya menyerbuk sendiri dengan bantuan serangga ataupun angin. Waktu yang diperlukan mulai dari penyerbukan hingga menjadi buah siap panen sekitar 6-9 bulan. Habitat tumbuhan kopi arabika terletak diantara 20° Lintang Selatan dan 20° Lintang Utara bumi. Tumbuhan kopi arabika hanya tumbuh dengan baik bila dibudidayakan pada ketinggian 1.000-2.000 meter di atas permukaan laut. Idealnya ditanam pada ketinggian 1.200 – 1.950 meter. Secara umum tumbuhan kopi arabika membutuhkan curah hujan 1.500-2.500 mm per tahun dengan bulan kering tidak lebih dari 3 bulan dalam setahun. Suhu udara yang ideal untuk tumbuhan ini adalah 15°-25° C. Berikut klasifikasi ilmiah dari kopi arabika.

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Gentianacea
Family	: Rubiaceae
Genus	: Coffea
Spesies	: Coffea arabica



Gambar 2.1 Struktur Biji Kopi

Menurut data USDA (*United States Department of Agriculture*) pada tahun 2015 di kawasan ASEAN Indonesia menempati peringkat produksi dan ekspor terbesar kedua setelah Vietnam. Sedangkan di dunia Indonesia menempati peringkat keempat setelah Brazil, Vietnam, dan Kolombia.

Biji kopi arabika dapat diolah menjadi minuman maupun sebagai salah satu bahan campuran dari berbagai jenis makanan. Spesies kopi ini memiliki nilai ekonomi yang lebih tinggi dibandingkan spesies kopi lainnya. Konsumsi kopi di dunia didominasi oleh spesies kopi arabika yaitu sebesar 70%, 26% kopi robusta, dan 4% spesies kopi lainnya. Kopi arabika lebih digemari dikarenakan kopi ini memiliki aroma serta rasa yang khas dan berbeda-beda tergantung dari kondisi lahan penanamannya. Agar dapat dikonsumsi, biji kopi arabika harus diproses terlebih dahulu mulai dari proses pemanenan buah kopi, penyortiran buah kopi, pemisahan daging buah dan biji kopi, fermentasi biji kopi, pencucian biji kopi, pengeringan biji kopi hingga kadar air mencapai sekitar 12%, *hulling*, sortasi biji, penyangraian biji kopi, pendinginan biji kopi, dan penggilingan biji kopi hingga menjadi kopi bubuk. Proses pengeringan biji kopi dimaksudkan agar biji kopi tidak mudah terserang jamur dan tidak pecah ketika mengalami proses *hulling*.

Kemudian biji kopi arabika diolah dengan cara disangrai. Proses penyangraian dibagi menjadi tiga tingkatan yaitu *light roast*, *medium roast*, dan *dark roast*. Perbedaannya terletak pada suhu dan lamanya penyangraian. Ketiga tingkatan tersebut akan menghasilkan aroma, citarasa, serta tingkat keasaman yang berbeda. Hal ini dikarenakan terjadinya proses pyrolisis serta perubahan pada komposisi senyawa kimia volatile dan non volatile. Perbedaan tingkat penyangraian juga mempengaruhi persentase *loss* dari unsur serta senyawa penyusun kopi, *light roast* 3-5% *loss*, *medium roast* sekitar 5-8% *loss*, dan *dark roast* sekitar 8-14% *loss* termasuk kadar air pada biji kopi (Varnam and Sutherland, 1994).

2.2 Kadar Air

Kadar air adalah persentase kandungan air suatu bahan yang dapat dinyatakan berdasarkan berat basah (wet basis) atau berdasarkan berat kering (dry basis). Kadar air berat basah mempunyai batas maksimum teoritis sebesar 100%, sedangkan kadar air berdasarkan berat kering dapat lebih dari 100% (Syarif dan Halid, 1993).

Menurut derajat keterikatan air dalam bahan makanan atau bound water dibagi menjadi 4 tipe, antara lain:

- a. Tipe I adalah tipe molekul air yang terikat pada molekul-molekul air melalui suatu ikatan hydrogen yang berenergi besar. Molekul air membentuk hidrat dengan molekul-molekul lain yang mengandung atom-atom O dan N seperti karbohidrat, protein atau garam.
- b. Tipe II adalah tipe molekul-molekul air membentuk ikatan hydrogen dengan molekul air lain, terdapat dalam mikro kapiler dan sifatnya agak berbeda dari air murni.
- c. Tipe III adalah tipe air yang secara fisik terikat dalam jaringan matriks bahan seperti membran, kapiler, serat dan lain-lain. Air tipe ini sering disebut dengan air bebas.
- d. Tipe IV adalah tipe air yang tidak terikat dalam jaringan suatu bahan atau air murni, dengan sifat-sifat air biasa (F.G. Winarno, 1999 : 3 – 14).

Air yang terdapat dalam bahan dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

- a. Air bebas yang terdapat dalam ruang-ruang antarsel, intergranular, dan pori-pori yang terdapat pada bahan.
- b. Air yang terikat secara lemah karena terabsorpsi permukaan koloid makromolekuler seperti protein, pectin pati, dan selulosa. Air ini masih dapat dikristalkan pada proses pembekuan.
- c. Air yang dalam keadaan terikat kuat yaitu membentuk hidrat. Ikatannya bersifat ionik. Air ini tidak membeku meskipun pada suhu 0°C (Anonim, 2010).

Secara umum terdapat tiga metode dalam menentukan kadar air yaitu metode oven/thermogravimetri (AOAC, 1984), metode destilasi/thermovolumetri, dan metode *Karl Fischer I/II* (Osborne dan Voogt, 1978; AOAC, 1984). Dalam penentuan kadar air bahan pangan berupa biji-bijian biasanya dilakukan dengan metode oven (AOAC, 1984) berdasarkan bobot basah dikarenakan metode ini relatif mudah dan ekonomis. Namun metode ini memiliki beberapa kelemahan yaitu:

- a. Bahan lain selain air dapat ikut menguap dan ikut hilang bersama dengan uap air seperti alcohol, asam asetat, dan minyak atsiri.
- b. Dapat terjadi reaksi selama pemanasan yang menghasilkan air atau zat mudah menguap lain, seperti gula mengalami dekomposisi atau karamelisasi, lemak mengalami oksidasi, dan sebagainya.
- c. Bahan yang mengandung bahan yang mengikat air akan sulit melepaskan air nya meskipun sudah dipanaskan.

Metode ini dilakukan dengan cara mengeringkan bahan yang diletakkan pada cawan disertai tutup dalam oven udara pada suhu 100°C – 102°C sampai diperoleh berat konstan dari residu bahan kering yang dihasilkan. Penentuankadar air dengan metode oven berdasarkan bobot basah dapat dicari menggunakan persamaan berikut (AOAC, 1984):

$$Ka = \frac{b - (c - a)}{b} \times 100\% \quad (2.1)$$

Keterangan:

Ka : Kadar air (%)

a : Berat konstan cawan kering beserta tutupnya sebelum digunakan (g)

b : Berat bahan awal (segar) yang digunakan sebelum diuapkan dan dikeringkan (g)

c : Berat konstan cawan berisi bahan kering beserta tutup cawan (g)

2.3 Grain Moisture Meter

Grain Moisture Meter adalah alat ukur kadar air pada suatu bahan. Kadar air perlu diketahui guna mengetahui apakah suatu bahan sudah siap pakai, siap disimpan, ataupun siap diproses karena kadar air dapat mempengaruhi ketahanan suatu bahan jika kadar air nya melebihi batas wajar. Alat ini bekerja berdasarkan daya hantar (konduktivitas) listrik suatu bahan uji yang dipengaruhi oleh kadar air dari bahan uji tersebut. Nilai konduktivitas tersebut kemudian diubah menjadi nilai kadar air melalui proses kalibrasi.



Gambar 2.2 MC-7828G Moisture Meter

Berikut spesifikasi dari alat ukur kadar air MC-7828G Moisture Meter.

Tabel 2.1 Spesifikasi Grain Moisture Meter (Digital Instrument Catalog)

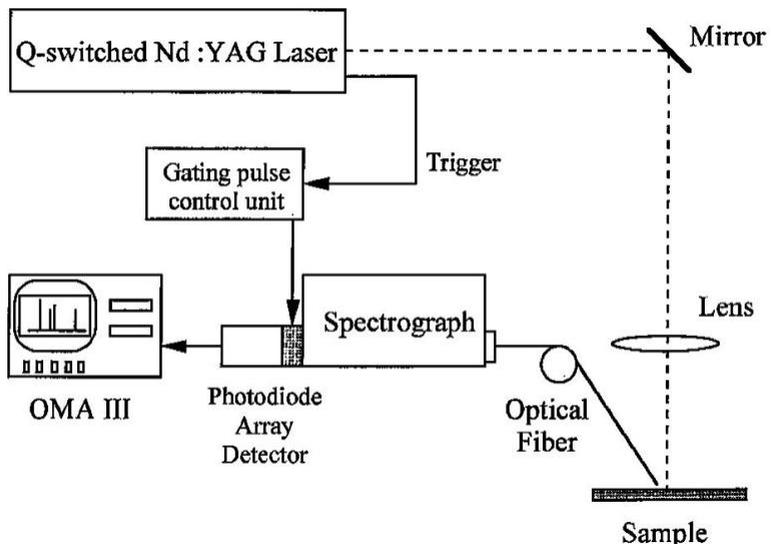
Model		MC-7821	MC-7825G	MC-7828G
Grains		4 Kinds	36 Kinds	22 Kinds
Display		LCD	LCD	LCD
LED Indicator		---	Green LED Represents a Safe, Air-dry State Yellow LED Represents a Borderline State Red LED Represents a Damp State	
Range	Moisture	8-20%	7-30%	0-50%
	Temperature	-10-55°C	---	---
Resolution		0.1	0.1	0.1
Battery Indicator		Low Battery Indicator	Low Battery Indicator	Low Battery Indicator
Auto Power Off		---	✓	✓
Accuracy	Moisture	$\pm 0.6\%$ / $\pm 0.8\%$ / $\pm 1\%$	$\pm (0.9\% \pm 1)$	$\pm (0.5\% \pm 1)$
	Temperature	$\pm 0.8^\circ\text{C}$	---	---
Operating Temperature		0-50°C	0-50°C	0-50°C
Conditions Humidity		< 80%RH	< 90%RH	< 90%RH
Power Supply		4x1.5V AA Size (UM-3) Battery	4x1.5V AAA Size (UM-4) Battery	4x1.5V AAA Size (UM-4) Battery
Dimensions	Main Unit	178x68x39mm	165x62x26mm	150x65x30mm
	Cup Sensor	---	---	115x66x66mm
Long Rod Sensor		368x44x25mm	368x44x25mm	---
Length of Rod		250mm	250mm	---
Diameter of Rod		8mm	8mm	---
Distance Between 2 Rods		17mm	17mm	---
Short Pin Sensor		---	157x44x44mm	---
Length of Pin		---	10mm	---
Diameter of Pin		---	0.7mm	---
Distance Between 2 Pins		---	3.5mm	---
Weight (Not Including Batteries)		420g	320g	520g
Standard Accessories	Main Unit	✓	✓	✓
	Rod Sensor	✓	✓	---
	Cup Sensor	---	---	✓
Carrying Case	Manual	B01	B04	B04
	Manual	✓	✓	✓
Optional Accessories		---	USB Cable with Software	USB Cable with Software
		---	Bluetooth Adapter with Software	Bluetooth Adapter with Software
		---	Short Pin Sensor	---

Tabel 2.2 Kode, Tipe Biji-bijian, dan Range Pengukuran MC-7828G (Digital Instrument Catalog)

Code	Grain	Range	Code	Grain	Range
Cd01	Wheat/Rye	0.5-70.0	Cd12	Peanut	0.5-71.5
Cd02	Maize/Corn 1	0.5-71.0	Cd13	Rape Seed	2.5-33.5
Cd03	Rice (Milled)	5.0-76.5	Cd14	Soybean Meal	1.0-73.0
Cd04	Paddy 1	2.5-65.5	Cd15	Rape Seed Meal	2.0-50.0
Cd05	Paddy 2	0.5-60.5	Cd16	Sun flower Seed	3.5-30.0
Cd06	Soya Bean	5.0-33.5	Cd17	Watermelon Seed	2.5-29.0
Cd07	Coffee Bean	5.0-33.5	Cd18	Cotton Seed	5.0-47.0
Cd08	Coco Bean	5.0-33.5	Cd19	Cotton Seed Meal	1.5-48.0
Cd09	Barley/Oats	3.0-58.0	Cd20	Maize Corn 2	3.0-61.5
Cd10	Sorghum/Milo	2.0-46.0	Cd21	White Wheat	1.5-50.5
Cd11	Sesame	6.0-41.0	Cd22	Granulated Feed	0.5-64.5

2.4 LIBS

Salah satu metode alternatif menentukan kadar air adalah dengan teknik spektroskopi. Teknik spektroskopi adalah teknik yang digunakan untuk mengetahui interaksi cahaya ketika mengenai suatu material sehingga diperoleh informasi kandungan dari material tersebut (Gauglitz, 2003). Teknik spektroskopi yang digunakan pada penelitian ini adalah teknik LIBS (*Laser Induced Breakdown Spectroscopy*). *Laser Induced Breakdown Spectroscopy* merupakan jenis spektroskopi emisi atom. Tiap atom sampel uji akan dieksitasi sehingga memancarkan emisi foton yang sesuai dengan jenis atomnya. LIBS memiliki 3 buah bagian utama yaitu laser pulsa, wadah sampel, dan spectrometer.

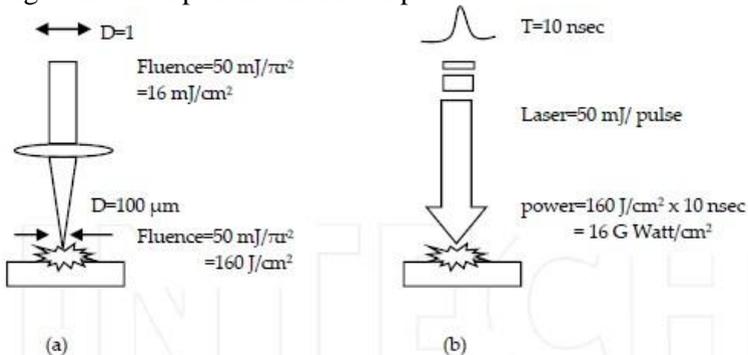


Gambar 2.3 Skema LIBS (Kim and Lin, 2012)

Pada Gambar 2.3 dapat dilihat bahwa laser pulsa ND:YAG ditembakkan kemudian diarahkan dan difokuskan pada sampel padat. Hal ini menyebabkan atom-atom pada sampel tereksitasi ke level energi yang lebih tinggi dan terbentuk plasma. Pada level

energi yang tinggi atom bersifat tidak stabil sehingga atom tersebut akan kembali ke level energi semula (*ground state*) dan mengemisikan foton dengan panjang gelombang yang sesuai dengan jenis atomnya. Berdasarkan hal tersebut, karakteristik dari proses ini dapat dimanfaatkan sebagai salah satu metode analisis material (Kim, dkk., 2012). Emisi foton tersebut kemudian ditangkap oleh fiber optik dan diteruskan menuju spektrometer. Oleh spektrometer kemudian diplot data berupa spektrum intensitas emisi fungsi panjang gelombang. Intensitas emisi unsur menyatakan konsentrasi unsur dalam sampel dan panjang gelombang menyatakan jenis unsurnya (Puspa Wirani, Ayu. 2016).

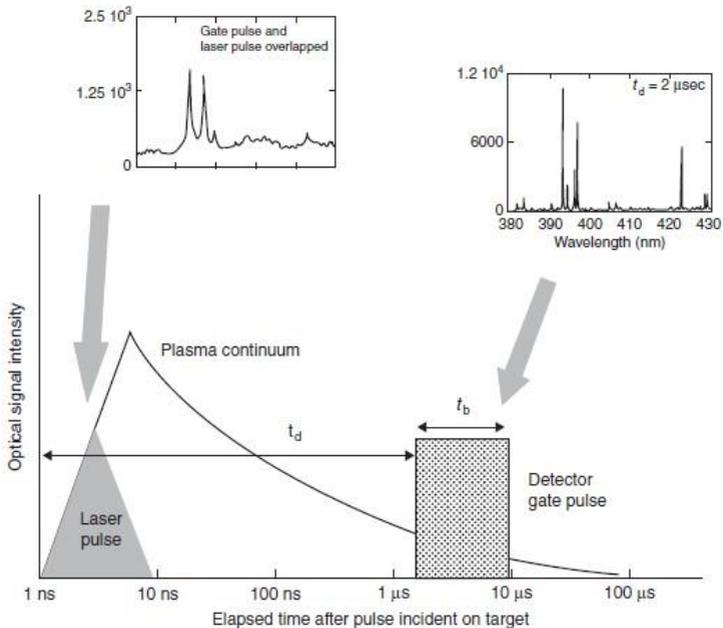
Agar didapatkan sinyal emisi yang baik maka perlu diatur dua parameter pengujian LIBS yaitu *energy laser* dan *delay time detection* (Cremers, dkk., 2013). Diperlukan besarnya energi laser yang cukup agar terjadi efek *breakdown* (laser pulsa mengatomisasi sampel sehingga menghasilkan emisi atomik) pada sampel. Besarnya energi laser dapat diatur dengan cara mengubah fokus laser pulsa menggunakan lensa convex dan atau mengubah durasi penembakan laser pulsa.



Gambar 2. 4 Perambatan Energi Laser Pada Kondisi Breakdown (a) Efek focusing dan (b) Efek Pulsa (Kim, dkk., 2012)

Delay time detection diatur dengan cara menunda pendeteksian sinyal dan mengatur lamanya bukaan dari detektor. Hal ini akan mempengaruhi besarnya SNR (*signal-to-noise ratio*).

Ketika laser ditembakkan pada sampel plasma yang dihasilkan mempunyai kerapatan partikel yang sangat tinggi. Partikel-partikel tersebut bergerak dengan kecepatan tinggi sehingga elektron-elektron bertumbukan dengan ion-ion (*bremstrahlung*) dan kehilangan energi yang dipancarkan sebagai foton dengan panjang gelombang tertentu (Cremers, dkk., 2013). Selain itu, sebagian partikel lain menangkap elektron (rekombinasi elektron) sehingga elektron mengemisikan foton dengan panjang gelombang yang lebar/kontinyu. Hal ini menyebabkan intensitas *background* yang ditangkap detektor cukup tinggi. Seiring bertambahnya waktu maka volume plasma bertambah, kerapatan partikel menurun, dan semakin banyak atom-atom yang mengalami eksitasi sehingga dihasilkan intensitas emisi yang tinggi (Puspa Wirani, Ayu. 2016). Oleh karena itu diperlukan pengaturan *delay time detection* yang tepat agar dapat dihasilkan sinyal yang tajam dengan *background noise* yang rendah.



Gambar 2.5 Pengaturan time delay detection (Cremers, dkk.,2013)

LIBS yang akan digunakan pada penelitian ini adalah Insight 115111-R LIBS. Alat ini terdiri dari sumber cahaya laser Nd:YAG (model CRF 200 mJ, 1064 nm, 7ns), monochromator HR 2500++, meja sampel, selang saluran gas, kamera, dan 7 buah detektor fiber optik yang terintegrasi dengan software AddLIBS dan OOILIBS pada komputer.

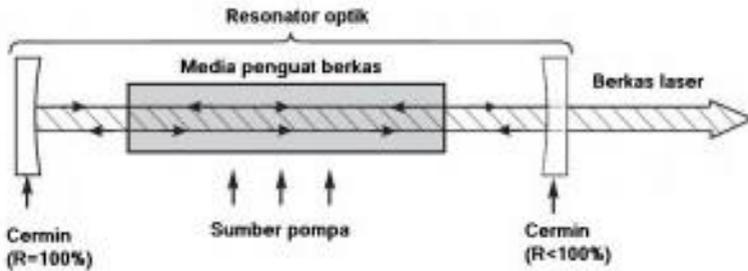


Gambar 2.6 Insight 115111-R LIBS

2.5 Laser Nd:YAG

Pada sistem LIBS agar efek *breakdown* dapat terjadi diperlukan sumber cahaya berupa laser pulsa dengan energi yang tinggi. Pada penelitian ini digunakan sumber cahaya berupa laser pulsa Nd:YAG. Laser (*Light Amplification by Stimulation Emission of Radiation*) adalah sumber cahaya yang dikuatkan melalui proses emisi terstimulasi yang bersifat koheren, monokromatik, memiliki intensitas tinggi, dan lintasannya lurus. Laser memiliki tiga komponen utama yaitu medium amplifikasi (*gain medium*), sumber energi pemompa (*pumping source*), dan resonator optik (*optical resonator*). Medium amplifikasi merupakan suatu bahan yang dapat meningkatkan intensitas cahaya melalui emisi terstimulasi. Resonator optik terdiri dari dua buah cermin yang saling berhadapan sehingga berkas cahaya bergerak bolak balik melalui medium amplifikasi. Salah satu cermin memiliki reflektansi kurang dari

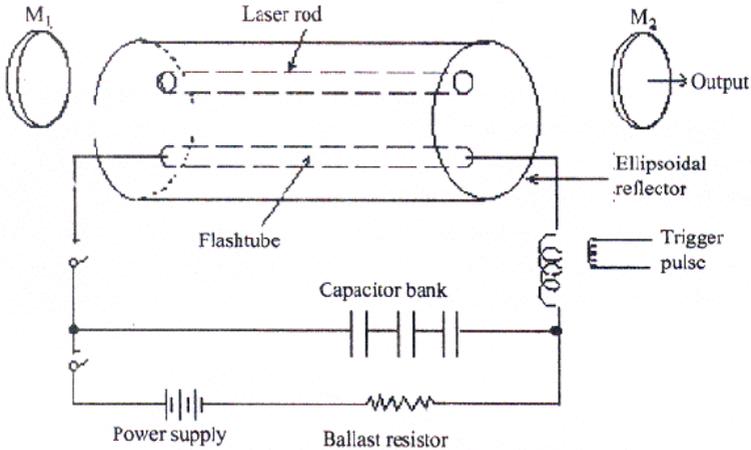
100% sehingga berfungsi sebagai jalur keluarnya berkas laser. *Pumping source* dapat berupa *flash lamp* atau *laser diode* yang memberikan energi tambahan pada medium amplifikasi.



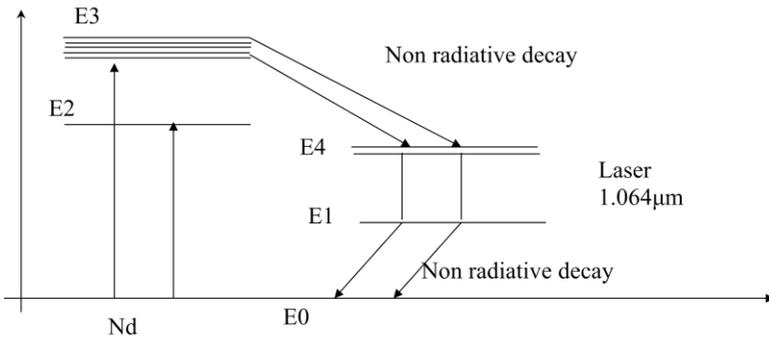
Gambar 2.7 Komponen Utama Laser

Pada laser Nd:YAG digunakan medium amplifikasi berupa Neodymium (Nd^{3+}) yang didoping dengan Yttrium Aluminium Garnet/YAG ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$). Laser Nd:YAG merupakan sistem laser dengan empat level energi. Dapat dilihat pada Gambar 2.9 bahwa ion Nd memiliki tiga level energi yaitu E1, E2, dan E3. Pada kondisi normal electron-elektrom dalam atom pada medium amplifikasi berada pada level energi *ground state* (E0). *Optical pumping* menyebabkan ion-ion naik ke level tereksitasi (E2 dan E3). Kemudian elektron-elektron tersebut akan meluruh melalui dua cara yaitu secara cepat menuju level energi yang lebih rendah/*meta stable state* (E4) dan mengemisikan energi berupa foton ke segala arah. Cara kedua adalah emisi terstimulasi yaitu sebagian foton dari hasil emisi spontan dipantulkan bolak-balik oleh resonator optik melalui medium amplifikasi serta menumbuk electron-elektron pada tingkat *meta stable state* (E4) dan menyebabkan elektron tersebut kembali ke level *ground state* (E0) sehingga elektron tersebut akan melepaskan energi berupa foton dengan fase, panjang gelombang, dan arah yang sama dengan foton penumbuk. Jika arah foton tersebut sejajar dengan sumbu resonator optik maka foton akan dipantulkan bolak-balik secara terus menerus hingga cukup kuat untuk melewati jalur

keluar berkas laser pada resonator optik sehingga terbentuklah berkas laser.



Gambar 2.8 Laser Nd:YAG

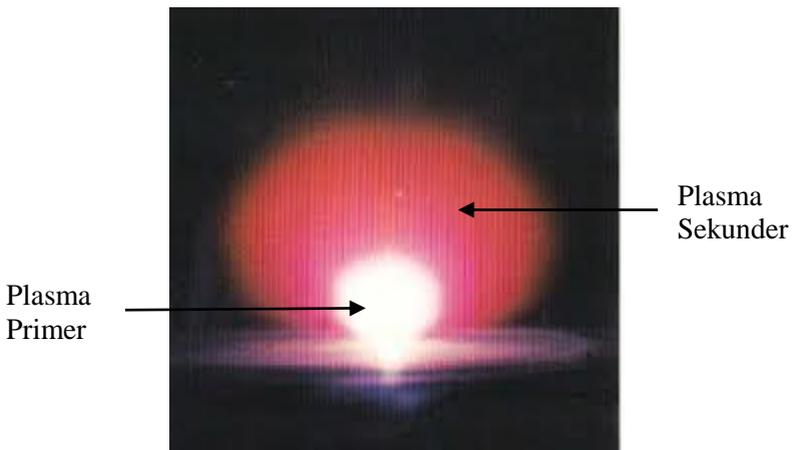


Gambar 2.9 Level Energi Laser Nd:YAG

2.6 Interaksi Laser dengan Sampel Padat

Pada penelitian ini digunakan sampel padat berupa biji kopi arabika. Ketika laser ditembakkan pada sampel maka akan terjadi interaksi antara laser dengan permukaan sampel. Ketika laser

difokuskan ke permukaan sampel, maka sebagian energi laser diserap oleh permukaan sampel untuk menaikkan suhunya sehingga ikatan-ikatan atomnya lepas (Cremers, dkk., 2013). Sebagian energi lainnya digunakan untuk memantulkan atau menggerakkan atom-atom tersebut dengan kecepatan yang sangat tinggi. Gerakan atom-atom ini menyebabkan kompresi adiabatik dengan gas disekeliling sampel sehingga sampai pada tekanan tertentu terjadi gelombang kejut (*shockwave*). Energi yang dihasilkan digunakan untuk mengeksitasi elektron-elektron dalam atom ke tingkat energi yang lebih tinggi. Dalam waktu yang sangat singkat, elektron-elektron ini akan kembali ke *groundstate* dan memancarkan emisi serta terbentuklah *hemispheric plasma* (Puspa Wirani, Ayu., 2016).



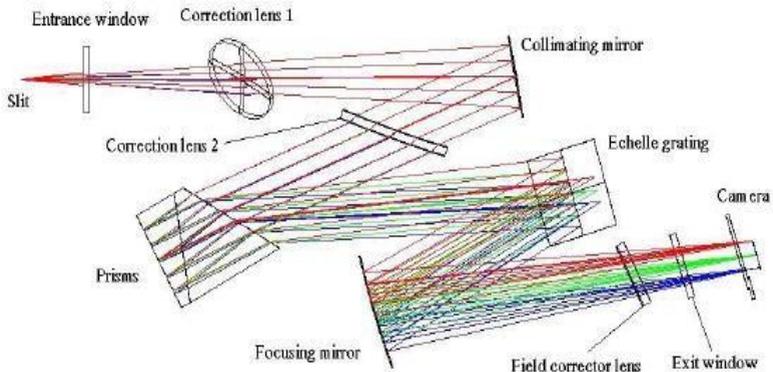
Gambar 2.10 Pembentukan Hemispheric Plasma Pada Sampel

Pada Gambar 2.10 dapat dilihat terbentuk dua daerah plasma yaitu daerah plasma primer dan sekunder (Cremers, dkk., 2013). Plasma primer memiliki kerapatan partikel yang lebih tinggi dan suhunya sangat tinggi sehingga berwarna lebih terang. Plasma primer memancarkan spectrum emisi kontinyu dengan intensitas yang tinggi. Daerah plasma sekunder berwarna kemerahan dan memiliki kerapatan yang lebih renggang. Daerah ini

menghasilkan spektrum emisi yang tajam. Spektrum pada daerah ini memiliki ciri khas tergantung dari unsur-unsur atom penyusun sampel tersebut. Tiap unsur memiliki panjang gelombang emisi masing-masing. Oleh karena itu berdasarkan intensitas emisi unsur pada plasma sekunder dapat diketahui komposisi maupun perubahan komposisi pada suatu sampel.

2.7 Spektrometer

Spektrometer adalah alat ukur spektrum intensitas emisi fungsi panjang gelombang. Alat ini terdiri dari beberapa komponen utama yaitu monokromator, detektor optik dan *software*. Monokromator berfungsi untuk memecah berkas polikromatik menjadi berkas monokromatik dengan lebar spektral tertentu. Alat ini juga berfungsi untuk memecah emisi plasma dengan sinyal *background*. Pada penelitian ini digunakan Spektrometer *ocean optic* HR 2500+, tempat sampel, Nd:YAG laser model CRF 200 mJ, 1.064nm, 7ns, frekuensi 5 Hz, multikanal optik CCD 14,336 pixels, rentang panjang gelombang dari 200–980 nm, dan resolusi 0,1 nm (Photon Machine, 2009). Spektrometer ini adalah jenis spektrometer Echelle (Photon Machine, 2009) yang terdiri dari dua komponen pendispersi yaitu prisma dan difraksi grating. Spektrometer Echelle memiliki resolusi spektral yang tinggi dibandingkan jenis konvensional yaitu mencapai empat kali lipatnya. Gambar 2.11 menunjukkan desain dari spektrometer Echelle. Grating yang digunakan mempunyai nilai lines/mm lebih kecil dibandingkan spektrometer konvensional (600 vs 2400) (Cremers, dkk., 2013). Bagian utama dari spektrometer Echelle antara lain *slit*, lensa, cermin, prisma, grating, dan CCD.



Gambar 2.11 Desain Spektrometer Echelle

Berkas cahaya masuk melalui slit kemudian melewati *correction lens* dan dipantulkan oleh cermin menuju prisma sehingga berkas cahaya terdispersi. Hal ini menyebabkan berkas cahaya terurai menjadi panjang gelombang penyusunnya. Kemudian berkas cahaya melewati grating untuk menguraikan kembali panjang gelombang penyusunnya, hal ini yang menyebabkan resolusinya menjadi tinggi. Kemudian berkas cahaya difokuskan dan keluar melalui *exit window*. Berkas cahaya ini kemudian ditangkap oleh detector CCD dan hasil pembacaan intensitas emisi unsur fungsi panjang gelombang dapat ditampilkan menggunakan *software* pada komputer. Perangkat lunak yang digunakan adalah OOILIBS dan AddLIBS.

2.8 Unsur C, H, O, dan Ca serta Rasio Intensitas H dan O

Pada penelitian ini akan ditentukan nilai kadar air biji kopi arabika berdasarkan intensitas emisi unsurnya. Oleh karena itu perlu diketahui unsur-unsur apa saja yang dominan pada biji kopi. Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Ayu Puspa Wirani pada tahun 2016 diketahui bahwa unsur paling dominan pada biji kopi adalah unsur kalsium (Ca). Unsur Ca juga terkait erat dengan perubahan kadar air biji kopi dibuktikan dengan berubahnya intensitas emisi unsur Ca menjadi lebih sedikit pada biji kopi

yang telah disangrai dibandingkan dengan biji kopi mentah. Pada penelitian ini dipilih juga unsur hidrogen (H) dan oksigen (O) dikarenakan unsur tersebut unsur penyusun air (H_2O) selain itu kedua unsur tersebut juga merupakan unsur dominan pada biji kopi. Pada proses sangrai terjadi pemanasan yang menyebabkan perubahan temperature di dalam biji kopi. Ketika temperature naik maka unsur H dan O akan lepas. Oleh karena itu, lepasnya H dan O berkaitan dengan penurunan intensitas emisi unsur Ca akibat proses sangrai. Selain itu, dapat dilihat bahwa warna fisik dari kopi berubah menjadi hitam-kecoklatan dimana gugus fungsi tersebut sebagian besar adalah unsur karbon (C) (Puspa Wirani, Ayu. 2016). Unsur karbon (C) pada biji kopi terbentuk seiring proses penyangraian dikarenakan terjadinya proses pirolisis senyawa hidrokarbon (karbohidrat, hemiselulosa, dan selulosa) menjadi unsur karbon (Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, 2007). Unsur C merupakan unsur yang ringan dan mudah berikatan dengan unsur N, O, dan H menjadi molekul CN, CO, dan CH pada lingkungan udara. Hal ini menyebabkan emisi unsur C susah terdeteksi pada lingkungan udara sehingga digunakan gas He yang dialirkan pada sampel dengan tujuan untuk menghindari bereaksinya unsur C dengan unsur lainnya.

Selain itu juga perlu dicari rasio intensitas unsur H/O. Pada penelien berjudul “Karakterisasi Unsur Hidrogen dan Oksigen dalam Sampel Polimer Organik dengan LIBS” oleh Heri Suyanto dkk pada tahun 2015 disebutkan bahwa perbandingan unsur H dan Unsur O yang menguap selalu bernilai konstan yaitu sekitar 0.9 yang berarti menguapnya H dibarengi oleh O. Penelitian tersebut menggunakan sampel berupa sabut kelapa yang direndam dalam aqua demineral 10 mL selama 20 menit kemudian dikeringkan secara bertahap. Rasio intensitas H/O dapat diketahui dengan cara membagi nilai intensitas emisi unsur H dengan intensitas emisi unsur O.

2.9 Regresi Linear

Pada penelitian ini digunakan pendekatan regresi linear untuk menentukan nilai kadar air biji kopi arabika berdasarkan intensitas emisi unsurnya ataupun berdasarkan rasio intensitas emisi unsur. Regresi linear dapat dicari menggunakan persamaan berikut:

$$Y = a + bX \quad (2.2)$$

Keterangan:

Y : variabel response/dependent/terikat

X : variabel predictor/independent/bebas

α : konstanta/intercept

b : koefisien regresi/slope

nilai b dan α dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2.3)$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

Keterangan:

b : koefisien regresi/slope

α : konstanta/intercept

n : jumlah sampel

X : variabel predictor/independent/bebas

Y : variabel response/dependent/terikat

Pada penelitian ini digunakan kadar air biji kopi arabika sebagai variabel dependent dan intensitas emisi unsur atau rasio intensitas emisi unsur sebagai variabel independent.

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variabel bebas X terhadap variabel terikat Y perlu dicari nilai korelasi (R), koefisien determinasi (R^2), dan kesalahan standar estimasi (Se). Korelasi (R) memiliki rentang nilai -1 hingga 1. Korelasi (R) menunjukkan hubungan linear antara variabel bebas X dengan

variabel terikat Y. Jika nilai R mendekati 1 maka hubungan kedua variabel sangat kuat dan searah, jika nilai R mendekati -1 maka hubungan kedua variabel sangat kuat dan tidak searah, sedangkan jika nilai R=0 atau mendekati 0 maka hubungan kedua variabel lemah. Korelasi dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$R = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{(n(\sum X^2) - (\sum X)^2)^{\frac{1}{2}}(n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.4)$$

Keterangan:

R : korelasi ($-1 \leq R^2 \leq 1$)

n : jumlah sampel

X : variabel predictor/independent/bebas

Y : variabel response/dependent/terikat

Koefisien determinasi (R^2) menunjukkan seberapa besar pengaruh variabel bebas X terhadap variabel terikat Y. Koefisien determinasi memiliki rentang nilai mulai dari 0 hingga 1. Nilai 0 menunjukkan variabel terikat Y sama sekali tidak dipengaruhi oleh variabel bebas X sedangkan nilai 1 berarti variabel terikat Y dipengaruhi seutuhnya oleh variabel bebas X. Semakin besar nilai R^2 (semakin mendekati 1) maka semakin baik model regresi yang diperoleh. Koefisien determinasi dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$R^2 = \frac{((n)(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y))^2}{(n(\sum X^2) - (\sum X)^2)(n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2)} \quad (2.5)$$

Keterangan:

R^2 : koefisien determinasi ($0 \leq R^2 \leq 1$)

n : jumlah sampel

X : variabel predictor/independent/bebas

Y : variabel response/dependent/terikat

Kesalahan standar estimasi (Se) digunakan untuk mengetahui ketepatan/akurasi dari persamaan regresi linear. Semakin kecil nilai Se maka semakin tinggi akurasi persamaan

regresi linear tersebut. Kesalahan standar estimasi (Se) dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$Se = \frac{\sqrt{(\sum Y^2 - a \sum Y - b \sum XY)}}{n - 2} \quad (2.6)$$

Keterangan:

Se : Kesalahan standar estimasi

b : koefisien regresi/slope

α : konstanta/intercept

n : jumlah sampel

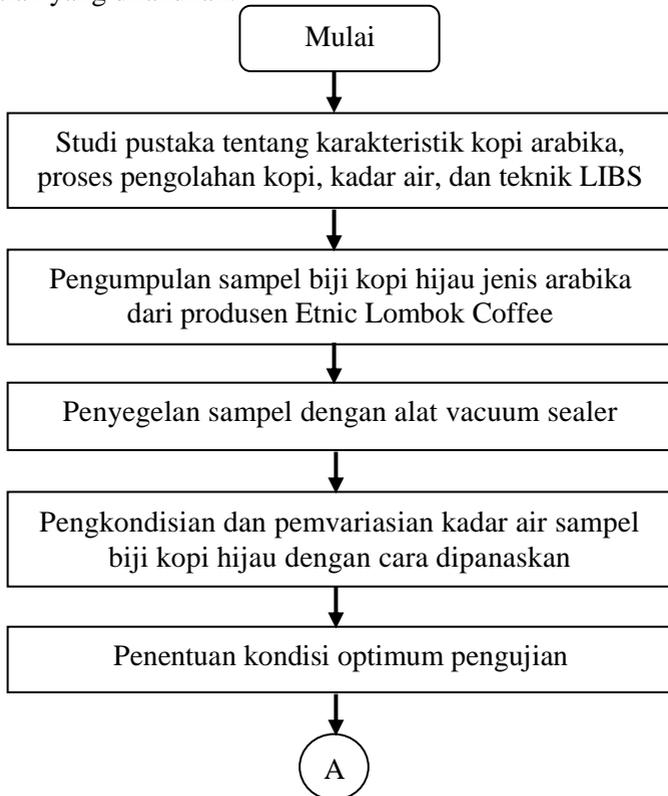
X : variabel predictor/independent/bebas

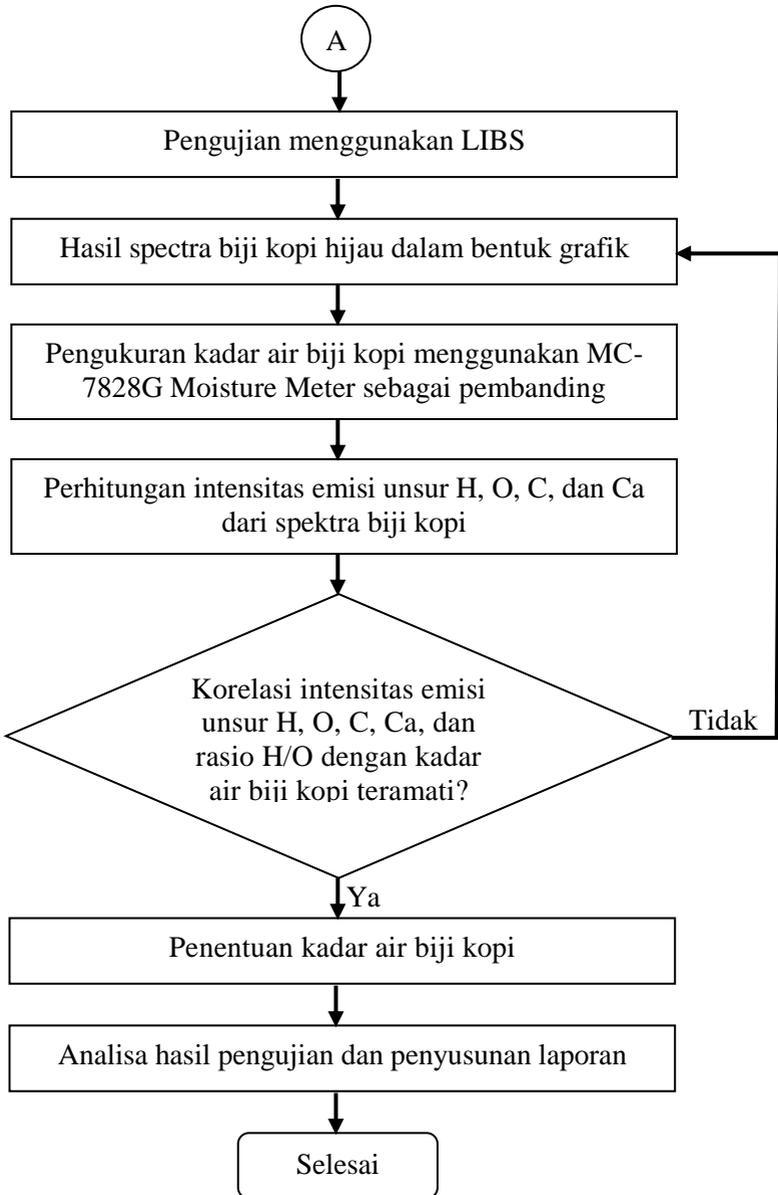
Y : variabel response/dependent/terikat

Halaman ini memang dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada tugas akhir ini terdapat beberapa langkah penelitian. Langkah pertama adalah studi pustaka mengenai karakteristik kopi arabika, proses pengolahan kopi, kadar air, dan teknik LIBS. Kemudian dilakukan pengumpulan sampel biji kopi hijau dari produsen Etnic Lombok Coffee. Selanjutnya sampel dikondisikan dan divariasikan kadar airnya. Setelah itu sampel diuji menggunakan LIBS. Berikut ini diagram alir dari metode penelitian yang dilakukan.





Tahapan-tahapan tersebut akan dibahas secara terperinci pada pembahasan berikut ini.

3.1 Alat dan Bahan

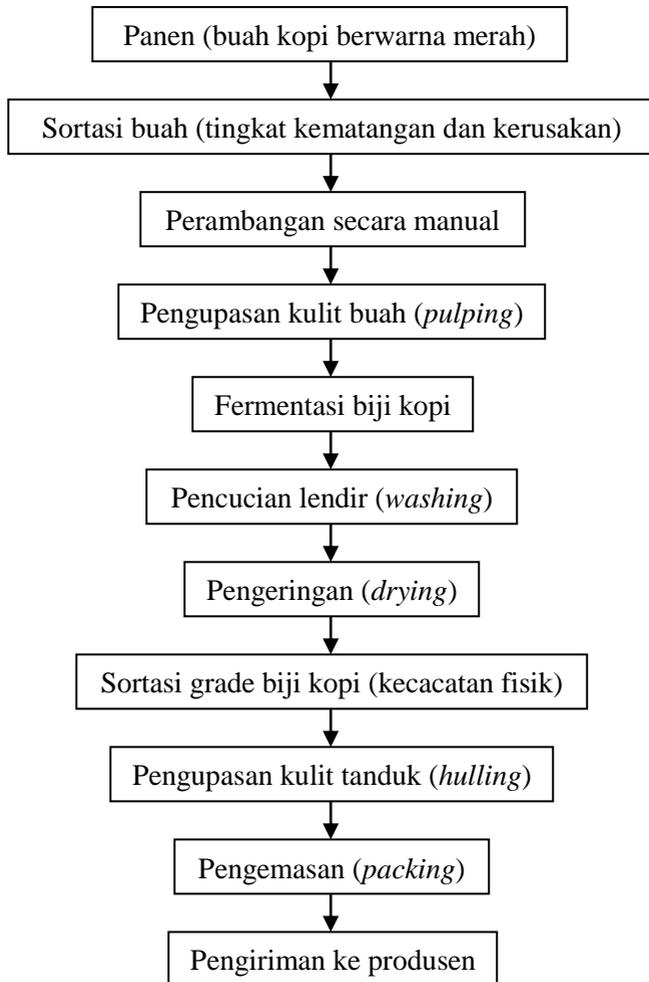
Alat dan bahan yang digunakan pada tugas akhir ini antara lain sebagai berikut.

- a. Sumber cahaya laser Nd:YAG (model CRF 200 mJ, 1064 nm, 7 ns)
- b. Spektrometer *ocean optic* HR 2500+
- c. 7 buah detector fiber optic dengan rentang pengukuran 200–980 nm
- d. Ruang sampel dengan tekanan udara 1 atm
- e. Gas Helium
- f. Tempat sampel
- g. MC-7828G Moisture Meter
- h. Vacuum Sealer Origin OVS 280
- i. Plastik vacuum
- j. Toples vacuum (vacuum saver)
- k. Pompa vacuum
- l. Wadah pemanas sampel (Toples)
- m. Lampu pijar 75 Watt
- n. Komputer
- o. Perangkat lunak AddLIBS dan OOILIBS
- p. Perangkat lunak Origin
- q. Sampel biji kopi hijau arabika

3.2 Pengumpulan Sampel

Sampel yang digunakan pada penelitian tugas akhir penentuan kadar air pada biji kopi menggunakan LIBS adalah biji kopi hijau jenis arabika yang berasal dari produsen Etnic Lombok Coffee. Secara umum proses pengolahan buah kopi dibagi menjadi dua yaitu pengolahan basah dan pengolahan kering. Pengolahan basah menggunakan air untuk pengupasan hingga pencucian kopi buah, sedangkan dalam pengolahan kering setelah buah kopi dipanen langsung dikeringkan (pengupasan kulit buah, kulit tanduk, dan kulit ari dilakukan setelah kering).

Proses pengolahan basah akan menghasilkan biji kopi dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan pengolahan kering namun pengolahan basah memerlukan waktu yang lebih lama. Pengolahan basah dapat dilakukan dalam skala kecil (tingkat petani) maupun menengah (semi mekanis dan mekanis). Produsen Etnic Lombok Coffee memasok biji kopi mentah dari petani kopi di daerah Sembalun (kaki gunung Rinjani) Lombok. Biji kopi yang dipasok adalah biji kopi hijau yang sudah mengalami proses *hulling* dan siap untuk disangrai (*roasting*) setelah disortir berdasarkan ukuran biji kopi. Berikut adalah proses pengolahan buah kopi hingga menjadi biji kopi hijau siap pasok yang dilakukan oleh petani pemasok biji kopi untuk produsen Etnic Lombok Coffee.



Gambar 3.1 Proses Pengolahan Kopi oleh Pemasok

Buah kopi yang telah masak (berwarna merah) dipanen secara manual. Kemudian dilakukan sortasi buah kopi secara manual berdasarkan tingkat kematangan dan kerusakan buah. Setelah itu dilakukan perambangan secara manual yaitu dengan cara merendam buah kopi di dalam air. Buah yang mengapung

akan diambil dan dipisahkan sedangkan buah yang tenggelam akan diproses lebih lanjut.



Gambar 3.2 (a) Panen Buah Kopi (b) Perambangan

Buah kopi yang telah lolos perambangan akan melalui proses *pulping* untuk memisahkan biji kopi dari exocarp (kulit buah) dan mesocarp (daging buah). Mesin yang digunakan pada proses *pulping* disebut *pulper*.



Gambar 3.3 Pengupasan (Pulping)

Setelah di-*pulping* biji kopi kemudian difermentasi untuk mempermudah proses pencucian biji kopi serta meningkatkan cita rasa dan aroma seduhannya. Ketika proses fermentasi berlangsung senyawa gula dan pektin yang terkandung di dalam lapisan lendir pada biji kopi akan diuraikan oleh mikroba alami (*Saccharomyces*). Proses yang digunakan adalah fermentasi basah yaitu dengan cara merendam biji kopi dengan air bersih kurang lebih selama 36 jam. Air rendaman diganti setiap 3-4 jam sekali sambil diaduk. Akhir fermentasi ditandai dengan mengelupasnya lapisan lendir yang menyelimuti kulit tanduk.

Biji kopi yang telah difermentasi akan melalui proses *washing* (pencucian). Pencucian dilakukan dengan menggunakan air bersih tiap 10 jam dan dilakukan sebanyak 3-4 kali sampai biji kopi telah bersih dari lendir. Selain untuk menghilangkan lendir pencucian juga dilakukan untuk ketahanan rasa biji kopi.

Kemudian biji kopi melalui proses pengeringan (*drying*). Biji kopi dijemur menggunakan sinar matahari langsung selama 2 minggu agar kadar airnya berkurang yang semula 60-65% menjadi 11-12%. Hal ini bertujuan untuk menjaga kualitas biji kopi dan menjaga biji kopi agar tidak mudah rusak saat disimpan.



Gambar 3.4 Pengeringan (Drying)

Setelah kadar airnya mencapai 11-12% (tidak boleh melebihi 12,5% sesuai dengan SNI 01-2907-2008 tentang syarat mutu biji kopi) biji kopi dapat dikemas dalam karung plastik ataupun

karung goni yang bersih. Penyimpanan harus dilakukan di ruang yang bersih, bebas dari bau asing, dan kontaminasi lainnya. Ruang mempunyai ventilasi dengan lubang udara yang udara yang memadai untuk menghindari terjadinya migrasi udara ke biji kopi. Tumpukan karung goni diletakkan di atas alas papan/kayu setinggi 10 cm dari permukaan lantai. Kadar air biji kopi tetap dimonitor secara berkala selama penyimpanan serta dijauhkan dari organisme pengganggu seperti tikus, serangga, jamur, dan lain-lain yang sekiranya dapat merusak biji kopi. Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam penyimpanan adalah kadar air, kelembaban relatif gudang (dijaga sekitar 70%), suhu gudang (optimum berkisar 20-25°C), dan kebersihan gudang.

Sebelum biji kopi dikirimkan ke produsen, biji kopi harus melalui proses *hulling* (pengupasan kulit tanduk) terlebih dahulu. Mesin yang digunakan pada proses *hulling* disebut *huller*.



Gambar 3.5 Pengupasan Kulit Tanduk (Hulling)

Biji kopi yang telah *dihulling* kemudian dikemas menggunakan karung plastik ataupun karung goni yang bersih. Kemudian biji kopi dikirimkan ke produsen sesuai dengan pesanan.



Gambar 3.6 Proses Pengolahan Biji Kopi oleh Produsen

Setelah biji kopi sampai ke produsen, biji kopi akan disortasi berdasarkan ukurannya. Hal ini bertujuan agar kematangan biji kopi merata saat *diroasting*. Setelah disortasi, biji kopi akan disangrai (*roasting*) dengan tingkat kematangan sedang (*medium roasted*). Pada proses ini kadar air biji kopi akan diturunkan lagi dari 11-12% hingga mencapai 3-4%. Proses *medium roasting* dilakukan pada suhu 210°C-220°C selama kurang lebih 20 menit. Kemudian biji kopi didinginkan, setelah dingin biji kopi dikemas menggunakan kemasan plastik kedap udara.



Gambar 3.7 Kemasan Biji Kopi

3.3 Pengkondisian Sampel

Sampel biji kopi yang telah didapatkan perlu dikondisikan dan divariasikan nilai kadar airnya. Untuk menjaga nilai kadar air sampel dari waktu pengumpulan sampel hingga pengambilan data menggunakan LIBS agar tetap stabil diperlukan beberapa alat yaitu vacuum sealer, plastik vacuum, toples vacuum, dan silica gel.

Saat pengambilan sampel berupa biji kopi hijau dari pemasok, sampel langsung disegel menggunakan alat vacuum sealer, plastik vacuum, dan silica gel. Kemudian sampel dibawa ke lokasi pengambilan data yaitu di Universitas Udayana kampus Bukit Jimbaran, Bali.



Gambar 3.8 Penyegelan Sampel

Setelah sampai di lokasi, sampel divariasikan kadar airnya menggunakan sistem pemanas yang terdiri dari 3 buah toples, 3 buah lampu pijar 75 Watt, dan sebuah *stop watch*. Sampel divariasikan menjadi 4 kondisi yaitu tanpa dipanaskan, dipanaskan

selama 10 jam, dipanaskan selama 20 jam, dan dipanaskan selama 30 jam.



Gambar 3.9 Pemanasan Sampel

Sampel yang telah selesai dipanaskan kemudian disegel kembali menggunakan alat vacuum sealer, plastik vacuum, dan silica gel. Toples vacuum akan digunakan pada saat pengambilan data menggunakan LIBS. Karena pengambilan data untuk 1 variasi sampel memerlukan waktu maka diperlukan toples vacuum untuk menjaga nilai kadar air sampel agar tidak berubah saat pengambilan data menggunakan LIBS.



Gambar 3.10 Toples Vacuum dan Pompa Vacuum

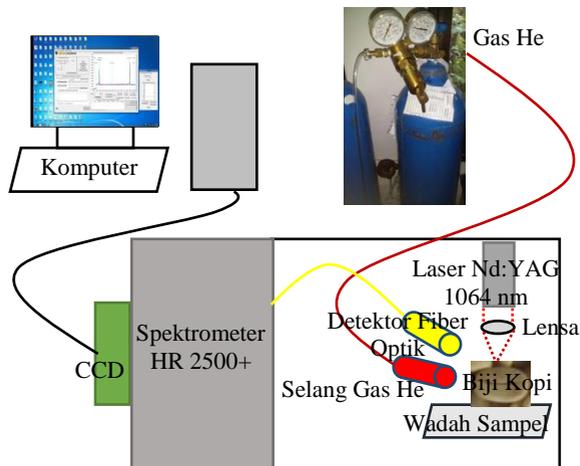
3.4 Penentuan Kondisi Optimum Pengujian

Setelah sampel dikondisikan dan divariasikan nilai kadar airnya maka perlu dicari kondisi optimum pengujian sebelum dilakukan pengambilan data menggunakan LIBS. Parameter yang menentukan kondisi optimum dari pengambilan data menggunakan teknik LIBS adalah energi laser dan *delay-time detection* (Cremers, dkk., 2013). Selain itu juga dicari nilai optimum debit gas helium (He) yang digunakan. Penggunaan gas He bertujuan untuk meminimalisir background noise yang muncul ketika melakukan pengambilan data dengan LIBS.

Pada penelitian tugas akhir ini digunakan laser Nd:YAG dengan panjang gelombang 1064 nm dengan akumulasi tiga kali penembakan. Nilai energi laser sebesar 100 mJ didapatkan setelah membandingkan hasil dari penggunaan energi laser sebesar 100 mJ dan 120 mJ. Penggunaan gas He sebesar 40 mL/s didapatkan setelah membandingkan hasil dari penggunaan gas He sebesar 20 mL/s, 40 mL/s, dan tanpa menggunakan gas He (lingkungan sampel adalah udara). Sedangkan untuk nilai *delay-time detection* yang digunakan adalah 0.5 μ s berdasarkan saran dari pembimbing II. Kondisi optimum diperoleh dengan membandingkan nilai sinyal background noise serta perbandingan intensitas emisi unsur hidrogen (H), oksigen (O), karbon (C), dan kalsium (Ca) dari beberapa variasi nilai energi laser dan debit gas helium.

3.5 Pengujian Menggunakan LIBS

Pengujian sampel biji kopi hijau menggunakan LIBS dilakukan untuk mengetahui intensitas emisi unsur H, O, C, dan Ca. Data tersebut kemudian digunakan untuk analisis nilai kadar air pada biji kopi dengan teknik LIBS. Berikut skema pengujian menggunakan teknik LIBS.



Gambar 3.11 Skema Pengujian Menggunakan LIBS

Pada Gambar 3.11 ditunjukkan skema sistem pengujian menggunakan LIBS. Sistem ini terdiri dari perangkat Insight LIBS Photon Machines, Tabung gas He, perangkat komputer, serta perangkat lunak AddLIBS dan OOILIBS. Perangkat Insight LIBS Photon Machines terdiri dari spektrometer Ocean Optic HR 2500+, laser Nd:YAG (model CRF 200 mJ, 1064 nm, 7 ns), selang gas, lensa cembung dengan panjang fokus 10 cm, wadah sampel dengan mesin penggerak dan kamera untuk mengatur posisi sampel, sensor CCD 14.336 mega pixels, serta 7 buah detektor fiber optik dengan rentang panjang gelombang 200 – 980 nm dengan resolusi 0.1 nm (Photon Machine, 2009).

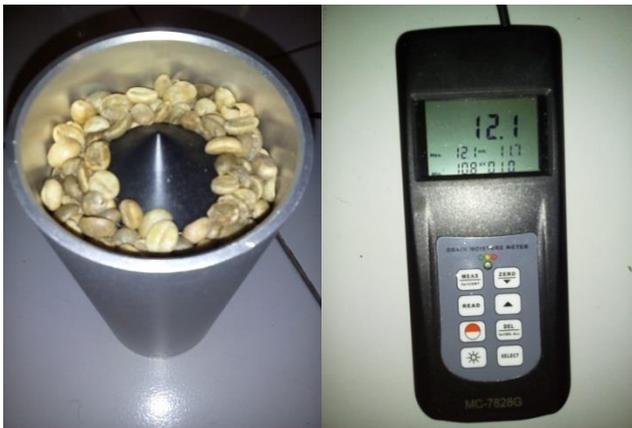
Langkah-langkah pengujian intensitas emisi unsur H, O, C, dan Ca pada biji kopi menggunakan LIBS adalah sebagai berikut.

- Perangkat komputer dan LIBS dihubungkan ke tegangan 220 V.
- Perangkat lunak OOILIBS dibuka dan dilakukan pengaturan energi laser sebesar 100 mJ, delay-time detection sebesar 0.5 μ s, dan akumulasi penembakan laser sebanyak 3 kali.
- Buka katup gas He dan atur debitnya sebesar 40 mL/s.

- d. Flashlamp pada perangkat LIBS dihidupkan untuk mengatur posisi sampel sebelum dilakukan penembakan.
- e. Titik penembakan pada sampel ditentukan menggunakan perangkat lunak OOILIBS pada komputer. Untuk 1 kondisi sampel diambil data sebanyak 3 buah biji kopi dan tiap biji kopi dilakukan penembakan pada 3 titik yang berbeda.
- f. Flashlamp dimatikan dan laser Nd:YAG dihidupkan kemudian dilakukan penembakan laser pada titik yang telah ditentukan.
- g. Data hasil pengujian spectra disimpan dalam format .xls dan .spect.
- h. Data spectra hasil pengujian dengan format .spect ditampilkan pada perangkat lunak AddLIBS untuk mengetahui nilai intensitas emisi unsur H, O, C, dan Ca.

3.6 Pengukuran Kadar Air dengan Moisture Meter

Untuk mengetahui relasi intensitas emisi unsur H, O, C, dan Ca terhadap nilai kadar air pada biji kopi perlu dilakukan pengukuran nilai kadar air sebagai alat validasi. Pada penelitian ini pengukuran tersebut dilakukan menggunakan MC-7828G Moisture Meter.



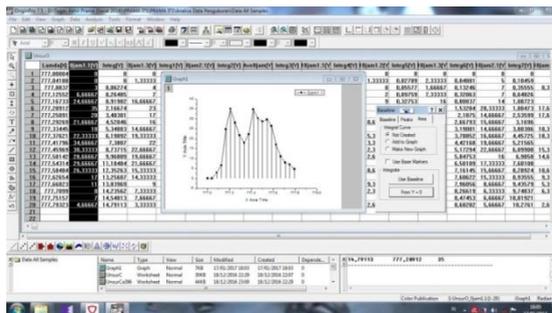
Gambar 3.12 Pengukuran dengan Moisture Meter

Alat ini bekerja berdasarkan berdasarkan konduktivitas listrik dari sampel yang diuji. Nilai kadar air yang terukur akan berbanding linear terhadap besarnya arus listrik yang mampu melewati sampel uji. Alat ini mampu mengukur 22 jenis sampel dengan rentang sensitivitas pengukuran kadar air 5-33.5% untuk sampel berupa biji kopi dan memiliki resolusi 0.1%. Langkah – langkah mengukur kadar air menggunakan MC-7828G Moisture Meter adalah sebagai berikut:

- Nyalakan MC-7828G Moisture Meter dan setting dengan pengaturan Cd21 (untuk sampel biji kopi).
- Masukkan sampel secukupnya ke dalam tabung alat ukur.
- Lakukan pengukuran kadar air terhadap sampel sebanyak 10 kali untuk tiap perlakuan sampel.
- Catat nilai maksimum, minimum, dan nilai rata-rata pengukuran.

3.7 Perhitungan Intensitas Emisi Unsur

Intensitas emisi unsur diperoleh dengan menghitung luas area di bawah kurva menggunakan perangkat lunak Origin. Perhitungan luas area tersebut menggunakan metode integral. Sebelum data intensitas emisi unsur H, O, C, dan Ca dimasukkan ke dalam perangkat lunak origin, nilai intensitas emisi unsur tersebut harus dikurangi nilai background noise terlebih dahulu. Contoh perhitungan intensitas emisi unsur O menggunakan perangkat lunak Origin dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Intensitas Area Pada Origin

3.8 Penentuan Kadar Air Biji Kopi

Berdasarkan data spektral hasil pengujian menggunakan LIBS dan pengukuran kadar air menggunakan moisture meter akan didapatkan korelasi antara intensitas emisi unsur dengan nilai kadar air pada biji kopi, selanjutnya dilakukan regresi linear untuk menentukan nilai kadar air biji kopi berdasarkan intensitas emisi unsurnya. Berikut nilai kadar air biji kopi sesuai standar pengolahan.

Tabel 3.1 Standar Kadar Air Biji Kopi (Varnam and Sutherland, 1994; Hasil Wawancara Produsen Kopi)

Tahap Proses	Kadar Air yang Hilang	Kadar Air
Penyimpanan	-	±12%
Biji Kopi Hijau (Siap Sangrai)	-	±12%
Light Roasted	3-5%	-
Medium Roasted	5-8%	-
Dark Roasted	8-14%	-

Kadar air biji kopi arabika ditentukan dengan melakukan regresi linear. Regresi linear dapat menunjukkan hubungan linear antar dua variabel dan memperkirakan nilai dari variabel terikat Y berdasarkan nilai dari variabel bebas X. Variabel terikat pada penelitian tugas akhir ini adalah kadar air biji kopi arabika sedangkan variabel bebasnya adalah intensitas emisi unsur atau rasio intensitas emisi unsur. Kemudian dicari nilai koefisien determinasi (R^2) dari persamaan regresi linear yang telah didapatkan. Nilai R^2 menunjukkan seberapa besar pengaruh variabel bebas X terhadap variabel terikat Y dimana nilai R^2 berkisar mulai dari 0 hingga 1. Nilai 0 menunjukkan variabel terikat Y sama sekali tidak dipengaruhi oleh variabel bebas X sedangkan nilai 1 berarti variabel terikat Y dipengaruhi seutuhnya oleh variabel bebas X. Semakin besar nilai R^2 (semakin mendekati 1) maka semakin baik model regresi yang diperoleh.

BAB IV

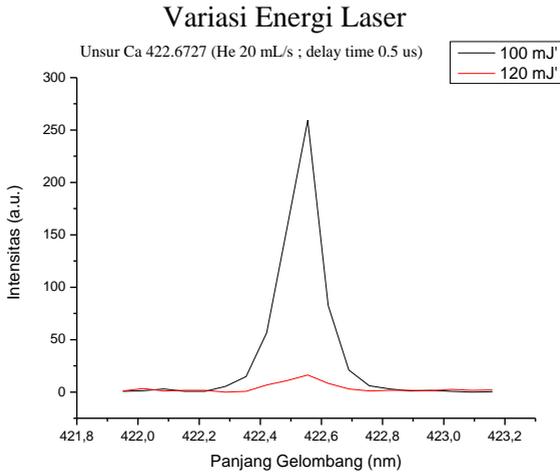
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Pengujian

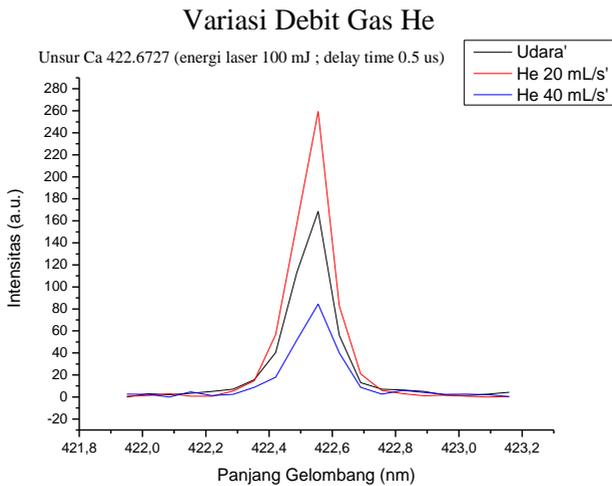
Sebelum melakukan pengambilan data intensitas emisi unsur O, H, C, dan Ca pada sampel biji kopi arabika perlu dilakukan karakterisasi pengujian dengan mencari kondisi optimum pengujian. Untuk teknik LIBS dengan gas He parameter-parameter yang menentukan kondisi optimum adalah energi laser, debit gas He, dan *delay time detection*. Variasi energi laser yang digunakan adalah 100 mJ dan 120 mJ dan variasi debit gas He yang digunakan adalah tanpa gas He (udara atmosfer), 20 mL/s, dan 40 mL/s. Sedangkan *delay time detection* yang digunakan adalah 0,5 μ s dengan tekanan udara ruang sampel sebesar 1 atm, hal ini berdasarkan saran dari pembimbing II. Selanjutnya data spektral percobaan ditampilkan dan diolah menggunakan perangkat lunak AddLIBS dan Microsoft Excel. Sedangkan perhitungan intensitas emisi unsur O, H, C, dan Ca dilakukan dengan cara menghitung luas area di bawah kurva menggunakan perangkat lunak Origin.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yaitu “Analisis Penciri Spektral dari Hasil Proses Sangrai Biji Kopi Hijau Jenis Arabika dan Robusta Menggunakan LIBS (*Laser-Induced Breakdown Spectroscopy*)” (Puspa Wirani, Ayu. 2016) diketahui bahwa Unsur Ca (Kalsium) adalah unsur dominan yang terdapat pada biji kopi sehingga unsur ini digunakan untuk mencari kondisi optimum pengujian. Unsur Ca terdapat pada beberapa rentang panjang gelombang pengukuran dan yang akan digunakan untuk menentukan kondisi optimum pengujian adalah Ca pada panjang gelombang 422,67 nm. Hal ini dikarenakan berdasarkan data NIST (National Institute of Standards Technology) panjang gelombang tersebut memiliki probabilitas transisi elektron terbesar dibandingkan panjang gelombang unsur lainnya yaitu $2.18 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$. Probabilitas transisi elektron menunjukkan

kemampuan elektron untuk bereksitasi dari level energi rendah ke level energi yang lebih tinggi.



Gambar 4.1 Spektrum Unsur Ca 422,67 dengan Variasi Energi Laser 100 mJ dan 120 mJ Tanpa Gas He



Gambar 4.2 Spektrum Unsur Ca 422,67 pada Energi Laser 100 mJ dengan Variasi Debit Gas He

Tabel 4.1 Perbandingan Intensitas Emisi Unsur pada Variasi Energi Laser 100 mJ dan 120 mJ

Energi Laser	Intensitas Emisi Unsur (a.u.)				
	O	H	C	Ca 396.85	Ca 422.67
100 mJ	630,5	1047	39,5	563,5	615,17
120 mJ	170,33	2492	55,67	110,17	65,17

Tabel 4.2 Perbandingan Intensitas Emisi Unsur pada Variasi Debit Gas He 0 mL/s, 20 mL/s, dan 40 mL/s

Gas He	Intensitas Emisi Unsur (a.u.)				
	O	H	C	Ca 396.85	Ca 422.67
Udara	644,83	1206,67	36,33	538,67	453,17
20 mL/s	630,5	1047	39,5	563,5	615,17
40 mL/s	354,33	2511	59,33	597,5	243,17

Pertama dilakukan penembakan pada sampel tanpa menggunakan gas He dengan *delay time* sebesar 0.5 μ s dengan variasi energi laser sebesar 100 mJ dan 120 mJ. Pada Gambar 4.1 dan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa dari hasil penembakan dengan variasi energi laser didapatkan nilai intensitas emisi unsur Ca 422.67 sebesar 615,17 a.u. untuk energi laser 100 mJ dan 65,17 a.u. untuk energi laser 120 mJ. Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa penggunaan energi laser 100 mJ menghasilkan nilai intensitas emisi unsur yang lebih besar dibandingkan penggunaan energi laser 120 mJ kecuali untuk unsur H dan C. Hal ini dikarenakan pada penembakan dengan energi laser 120 mJ terjadi efek *breakdown* dengan udara sehingga terdapat banyak tambahan emisi unsur H dari udara. Sedangkan unsur C dapat tereksitasi lebih baik pada penembakan dengan energi laser 120 mJ, namun dikarenakan unsur Ca merupakan unsur yang lebih dominan pada biji kopi maka dapat disimpulkan kondisi optimum pengujian pada penelitian ini adalah pada energi laser 100 mJ.

Selanjutnya dilakukan penembakan pada sampel pada energi laser 100 mJ dan *delay time* 0.5 μ s dengan variasi debit gas He

yaitu 0 mL/s (udara), 20 mL/s, dan 40 mL/s untuk menentukan kondisi optimum penggunaan gas He. Pada Gambar 4.2 dan Tabel 4.2 didapatkan nilai intensitas emisi unsur Ca 422.67 sebesar 453,17 a.u. pada variasi debit gas He 0 mL/s (udara), 615,17 a.u. pada debit gas He 20 mL/s, dan 243,17 a.u. pada debit gas He 40 mL/s. Pada penembakan dengan debit gas He 40 mL/s terjadi peningkatan intensitas emisi unsur H yang sangat tinggi sedangkan pada unsur O dan unsur Ca 422.67 terjadi penurunan nilai intensitas emisi unsur. Pada penembakan ini juga terjadi peningkatan intensitas emisi unsur C yang berbanding lurus dengan besarnya debit gas He. hal ini disebabkan penggunaan gas He akan menghalangi emisi unsur C agar tidak berikatan dengan unsur lain yang terdapat pada udara. Pada lingkungan udara unsur C dapat bereaksi dengan nitrogen, oksigen, dan hidrogen membentuk molekul CN, CO, dan CH. Berdasarkan data tersebut kondisi optimum pengujian pada penelitian ini adalah pada delay time 0.5 μ s, energi laser 100 mJ, dan debit gas He 20 mL/s.

4.2 Intensitas Emisi Unsur

Dalam material organik, setiap unsur berikatan dengan hidrokarbon C, H, dan O termasuk unsur Ca pada biji kopi. Unsur Ca yang merupakan unsur dominan di dalam kopi ikatannya menjadi lemah setelah disangrai. Pada proses sangrai terjadi pemanasan yang menyebabkan perubahan temperatur di dalam biji kopi. Ketika temperatur naik maka unsur H dan O akan lepas. Oleh karena itu, lepasnya H dan O berkaitan dengan penurunan intensitas emisi unsur Ca akibat proses sangrai. Selain itu, dapat dilihat bahwa warna fisik dari kopi berubah menjadi hitam-kecoklatan dimana gugus fungsi tersebut sebagian besar adalah unsur C (Puspa Wirani, Ayu. 2016). Pada proses penyangraian biji kopi nilai intensitas emisi unsur-unsur tersebut akan berubah seiring dengan hilangnya kadar air dan terbentuknya unsur karbon pada biji kopi. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dicari korelasi perubahan intensitas emisi unsur Ca, C, H, dan O kaitannya dengan perubahan kadar air pada biji kopi. Setelah kadar air sampel divariasikan menjadi 4 kondisi dengan cara

dipanaskan menggunakan lampu pijar 75 Watt selama 0 jam (tidak dipanaskan), 10 jam, 20 jam, dan 30 jam dilakukan pengujian menggunakan LIBS pada delay time 0.5 μ s, energi laser 100 mJ, dan debit aliran gas He 20 mL/s didapatkan hasil sebagai berikut

4.2.1 Intensitas Emisi Unsur C

Karbon atau zat arang merupakan unsur kimia yang mempunyai simbol C dan nomor atom 6 pada tabel periodik. Karbon merupakan unsur non-logam dan bervalensi 4 (tetravalen), yang berarti bahwa terdapat empat elektron yang dapat digunakan untuk membentuk ikatan kovalen (Chemical Elements.com, 2007).

Unsur karbon (C) pada biji kopi terbentuk seiring proses penyangraian dikarenakan terjadinya proses pirolisis senyawa hidrokarbon (karbohidrat, hemiselulosa, dan selulosa) menjadi unsur karbon (Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, 2007). Unsur C merupakan unsur yang ringan dan mudah berikatan dengan unsur N, O, dan H menjadi molekul CN, CO, dan CH pada lingkungan udara. Hal ini menyebabkan emisi unsur C susah terdeteksi pada lingkungan udara sehingga digunakan gas He yang dialirkan pada sampel dengan tujuan untuk menghindari bereaksinya unsur C dengan unsur lainnya.

Tabel 4.3 Intensitas Emisi Unsur C

Unsur	Perlakuan	Intensitas Rata-rata (a.u.)	Standar Deviasi
C	Tanpa Dipanaskan	2,33833	0,377279742
	Dipanaskan 10 Jam	3,1946	2,187126066
	Dipanaskan 20 Jam	2,45569	2,768265121
	Dipanaskan 30 Jam	2,52959	0,93430019

Pada Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa nilai intensitas rata-rata emisi unsur C yang terdeteksi masih terlalu kecil serta

perubahannya terhadap perubahan kondisi pemanasan sampel masih fluktuatif. Hal ini disebabkan karena kecepatan aliran gas He yang digunakan masih terlalu kecil sehingga belum berdampak secara signifikan terhadap pembacaan intensitas emisi unsur C. Pada Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa kecepatan aliran gas He sebesar 40 mL/s akan menghasilkan nilai intensitas emisi unsur C yang lebih baik yaitu 59,33 a.u. namun pada kondisi tersebut nilai intensitas emisi unsur H akan terlalu tinggi sedangkan unsur O dan Ca 422.67 akan terlalu rendah sehingga digunakan kecepatan aliran gas He sebesar 20 mL/s.

4.2.2 Intensitas Emisi Unsur H

Molekul air dan zat organik kaya akan unsur hidrogen. Unsur hidrogen tergolong unsur ringan yang mempunyai sifat mudah menguap dan mudah berikatan dengan unsur-unsur lain sehingga konsentrasinya berubah-ubah fungsi waktu dan suhu lingkungan (Hery Suyanto, dkk. 2015). Pada biji kopi konsentrasi unsur hidrogen dipengaruhi oleh lamanya penyimpanan, suhu, dan kelembaban udara lingkungannya. Pada proses penyangraian biji kopi terjadi penguapan senyawa-senyawa volatil termasuk molekul air. Penguapan air tersebut menyebabkan berkurangnya konsentrasi unsur hidrogen pada biji kopi sehingga terjadi perubahan nilai intensitas emisi unsur hidrogen pada pengujian menggunakan LIBS.

Pada Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan intensitas rata-rata emisi unsur H seiring dengan lamanya sampel dipanaskan kecuali pada sampel yang dipanaskan selama 30 jam. Secara teori intensitas emisi unsur H akan berkurang seiring dengan berkurangnya kadar air akibat pemanasan pada sampel namun intensitas emisi unsur H secara relatif justru meningkat seiring dengan peningkatan durasi lamanya sampel dipanaskan. Hal ini terjadi karena biji kopi merupakan zat organik yang bersifat tidak homogen sehingga unsur-unsur pada biji kopi tidak tersebar secara merata. Hal ini juga bisa jadi disebabkan proses pemanasan sampel yang kurang merata.

Tabel 4.4 Intensitas Emisi Unsur H

Unsur	Perlakuan	Intensitas Rata-rata (a.u.)	Standar Deviasi
H	Tanpa Dipanaskan	81.10336	30.42455038
	Dipanaskan 10 Jam	82.19116	21.64955243
	Dipanaskan 20 Jam	101.1531	27.55676094
	Dipanaskan 30 Jam	86.78746	33.84304879

4.2.3 Intensitas Emisi Unsur O

Oksigen atau zat asam adalah unsur kimia dalam sistem tabel periodik yang mempunyai lambang O dan nomor atom 8. Unsur oksigen (O) merupakan unsur penyusun molekul air (H_2O). Semua kelompok molekul struktural yang terdapat pada organisme hidup, seperti protein, karbohidrat, dan lemak, mengandung oksigen, termasuk pada biji kopi arabika. Unsur ini mudah menguap dan berikatan dengan unsur lainnya seperti berikatan dengan karbon menjadi gas CO_2 ataupun berikatan dengan unsur H menjadi uap air (H_2O). Setelah biji kopi disangrai akan terjadi proses *degassing*, biji kopi akan mengeluarkan gas CO_2 . Saat proses penyangraian, biji kopi akan kehilangan unsur O yang dibarengi dengan unsur H (Hery Suyanto, dkk. 2015).

Tabel 4.5 Intensitas Emisi Unsur O

Unsur	Perlakuan	Intensitas Rata-rata (a.u.)	Standar Deviasi
O	Tanpa Dipanaskan	11.7532	2.70596689
	Dipanaskan 10 Jam	8.60529	1.357782464
	Dipanaskan 20 Jam	8.629856	2.860255925
	Dipanaskan 30 Jam	7.401803	1.325965268

Pada Tabel 4.5 dapat dilihat terjadinya penurunan intensitas emisi unsur O seiring dengan meningkatnya durasi pemanasan

pada sampel. Hal ini menandakan terjadinya penurunan konsentrasi unsur O pada biji kopi. Konsentrasi unsur O berkurang seiring dengan berkurangnya kadar air pada biji kopi akibat pemanasan.

4.2.3 Intensitas Emisi Unsur Ca

Unsur Ca (Kalsium) adalah unsur dominan yang terdapat pada biji kopi. Terjadi pengurangan intensitas emisi unsur Ca setelah dilakukan penyangraian (Puspa Wirani, Ayu. 2016). Terjadi pelepasan unsur H dan O seiring dengan berkurangnya konsentrasi unsur Ca pada biji kopi. Unsur Ca terdapat pada beberapa rentang panjang gelombang pengukuran dan yang akan digunakan adalah Ca pada panjang gelombang 422,6727 nm dan 396.8467 nm. Hal ini dikarenakan berdasarkan data NIST (National Institute of Standards Technology) panjang gelombang tersebut memiliki probabilitas transisi elektron terbesar dibandingkan panjang gelombang unsur lainnya yaitu $2.18 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$ dan $1.4 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$. Probabilitas transisi elektron menunjukkan kemampuan elektron untuk bereksitasi dari level energi rendah ke level energi yang lebih tinggi.

Pada Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan intensitas emisi unsur Ca pada panjang gelombang 396.8467 nm dan 422.6727 nm seiring dengan peningkatan durasi pemanasan pada sampel. Hal ini disebabkan unsur Ca yang merupakan unsur dominan di dalam biji kopi ikatannya menjadi lemah ketika disangrai atau dipanaskan.

Tabel 4.6 Intensitas Emisi Unsur Ca

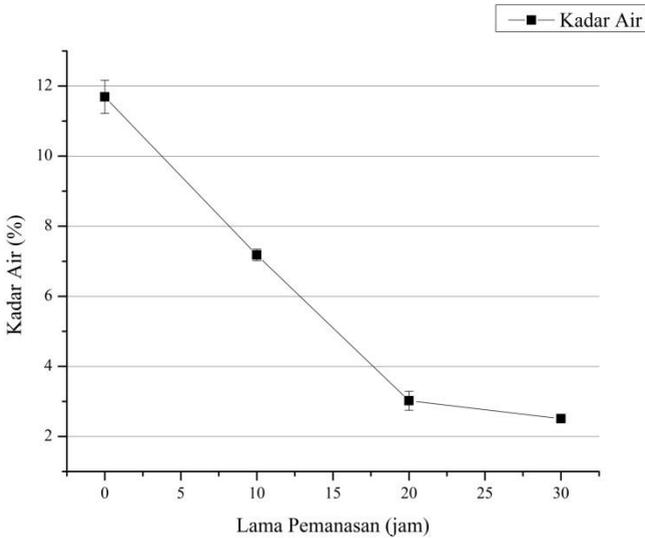
Unsur	Perlakuan	Intensitas Rata-rata (a.u.)	Standar Deviasi
Ca 396.8467	Tanpa Dipanaskan	21.37326	11.15014914
	Dipanaskan 10 Jam	14.54621	7.620443108
	Dipanaskan 20 Jam	13.34931	6.338430821
	Dipanaskan 30 Jam	12.16446	5.858618068
Ca 422.6727	Tanpa Dipanaskan	11.19247	3.439639574
	Dipanaskan 10 Jam	8.525274	3.046560452
	Dipanaskan 20 Jam	6.8786	3.143532589
	Dipanaskan 30 Jam	8.906095	3.064068137

4.3 Pengukuran Kadar Air

Sebagai validator digunakan alat ukur MC-7828G *Grain Moisture Meter* untuk mengukur kadar air pada biji kopi. Hasil pengukuran dari alat ini digunakan sebagai pembanding untuk mengetahui korelasi antara intensitas emisi unsur C, H, O, dan Ca serta rasio intensitas emisi unsur H/O dengan kadar air biji kopi arabika. Dilakukan pengukuran kadar air sebanyak 10 kali menggunakan MC-7828G *Grain Moisture Meter* pada tiap kelompok sampel dan didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Kadar Air

Waktu Pemanasan (jam)	Kadar Air (%)	Standar Deviasi
0	11.69	0.47246399
10	7.18	0.161932771
20	3.02	0.269979423
30	2.51	0.073786479



Gambar 4.3 Hasil Pengukuran Kadar Air

4.4 Rasio Intensitas Unsur H/O

Pada penelitian berjudul “Karakterisasi Unsur Hidrogen dan Oksigen dalam Sampel Polimer Organik dengan LIBS” oleh Heri Suyanto dkk pada tahun 2015 disebutkan bahwa perbandingan unsur H dan unsur O yang menguap selalu bernilai konstan yaitu sekitar 0.9 yang berarti menguapnya H dibarengi oleh O. Penelitian tersebut menggunakan sampel berupa sabut kelapa yang direndam dalam aqua demineral 10 mL selama 20 menit kemudian dikeringkan secara bertahap. Oleh karena itu pada penelitian ini dicari rasio intensitas unsur H/O untuk mengetahui korelasinya dengan kadar air.

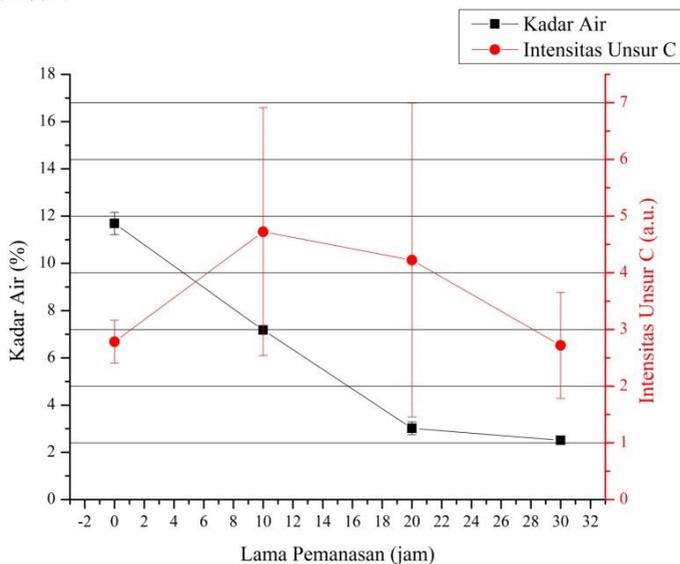
Pada Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa rasio intensitas unsur H/O akan meningkat seiring dengan durasi pemanasan sampel dan cenderung bernilai stabil pada durasi pemanasan yang lama.

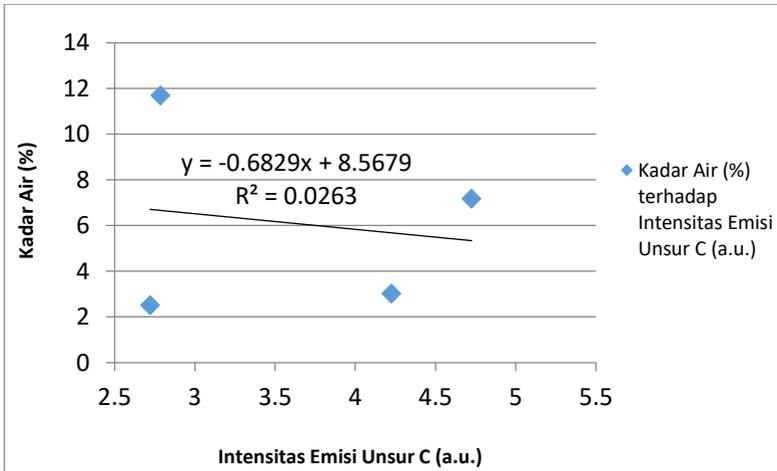
Tabel 4.8 Rasio Intensitas Unsur H/O

No.	Waktu Pemanasan	Kadar Air (%)	Intensitas Unsur H (a.u.)	Intensitas Unsur O (a.u.)	Rasio Intensitas Unsur H/O
1	0 jam	11.69	81.10336	11.7532	6.900534323
2	10 jam	7.18	82.19116	8.60529	9.551236507
3	20 jam	3.02	101.1531	8.629856	11.72129639
4	30 jam	2.51	86.78746	7.401803	11.72517831

4.5 Penentuan Kadar Air pada Biji Kopi

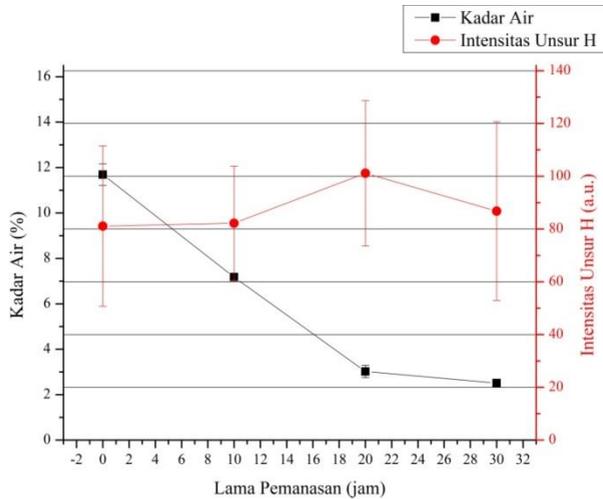
Untuk menentukan kadar air pada biji kopi perlu diketahui unsur mana yang memiliki korelasi paling tinggi dengan kadar air pada biji kopi. Hal ini dapat dilakukan dengan cara melakukan regresi linear kadar air fungsi intensitas emisi unsur atau rasio emisi unsur.

**Gambar 4.4** Grafik Kadar Air dan Intensitas Unsur C

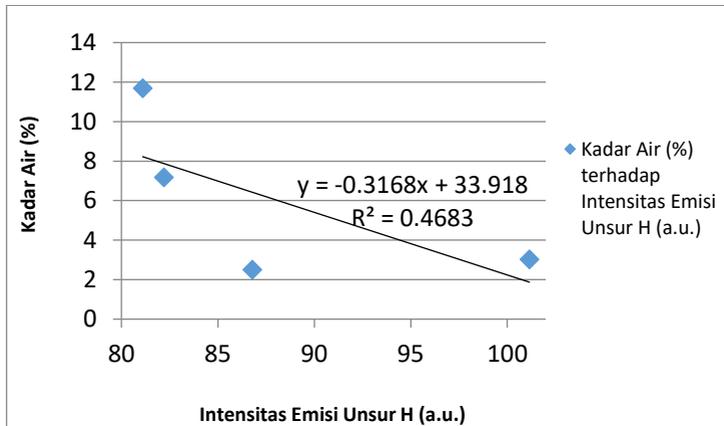


Gambar 4.5 Regresi Linear Unsur C

Pada Gambar 4.5 didapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) untuk persamaan regresi linear kadar air sebagai fungsi dari intensitas emisi unsur C adalah sebesar 0.026. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh intensitas emisi unsur C dalam menentukan nilai kadar air biji kopi arabika pada pemodelan tersebut hanya sebesar 2.6%. Artinya model matematis tersebut tidak cocok digunakan untuk menentukan kadar air biji kopi arabika. Hal ini disebabkan oleh sifat unsur C yang ringan dan mudah berikatan dengan unsur lain sehingga susah untuk dideteksi.



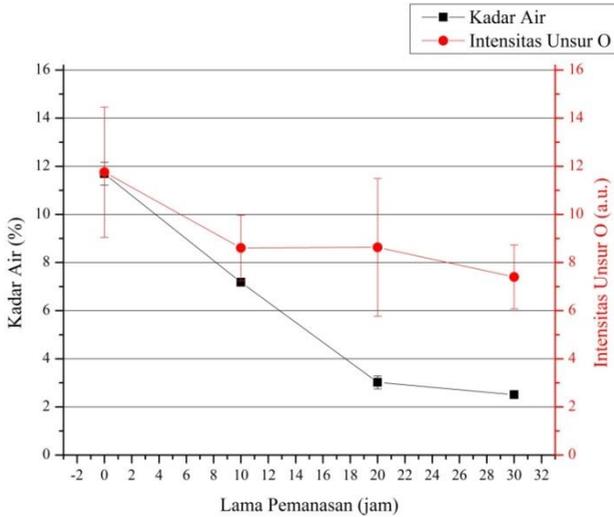
Gambar 4.6 Grafik Kadar Air dan Intensitas Unsur H



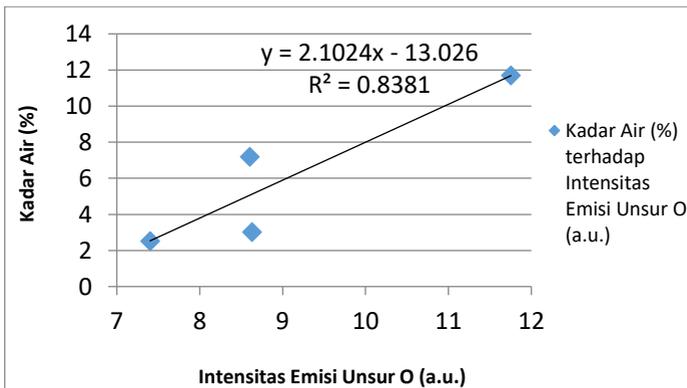
Gambar 4.7 Regresi Linear Unsur H

Pada Gambar 4.7 didapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) untuk persamaan regresi linear kadar air sebagai fungsi dari intensitas emisi unsur H adalah sebesar 0.468. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh intensitas emisi unsur H dalam

menentukan nilai kadar air biji kopi arabika pada pemodelan tersebut adalah sebesar 46.8%.



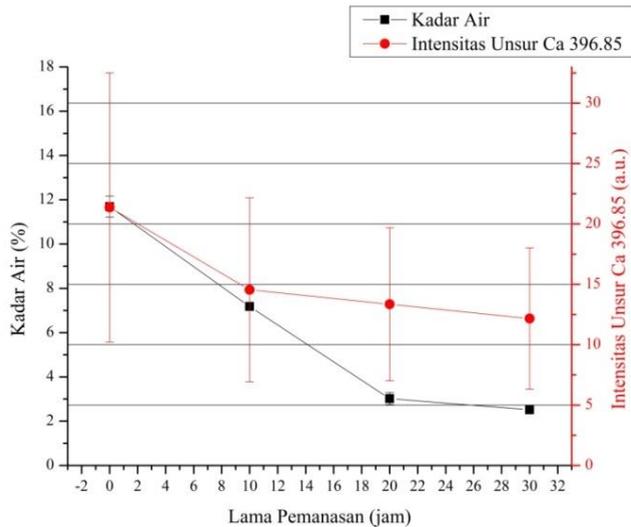
Gambar 4.8 Grafik Kadar Air dan Intensitas Unsur O



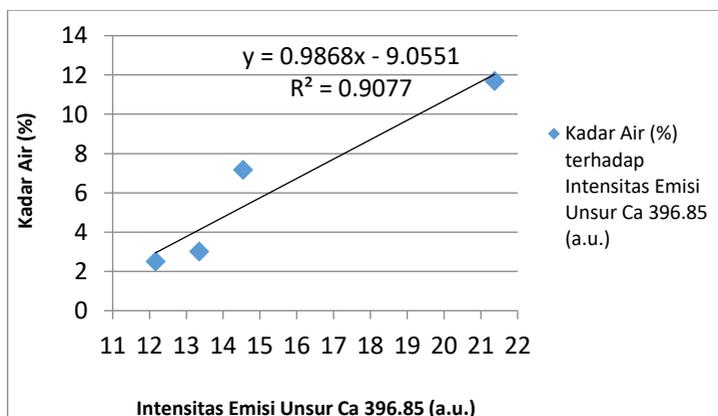
Gambar 4.9 Regresi Linear Unsur O

Pada Gambar 4.9 didapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) untuk persamaan regresi linear kadar air sebagai fungsi dari intensitas emisi unsur O adalah sebesar 0.838. Hal ini

menunjukkan bahwa pengaruh intensitas emisi unsur O dalam menentukan nilai kadar air biji kopi arabika pada pemodelan tersebut adalah sebesar 83.8%.

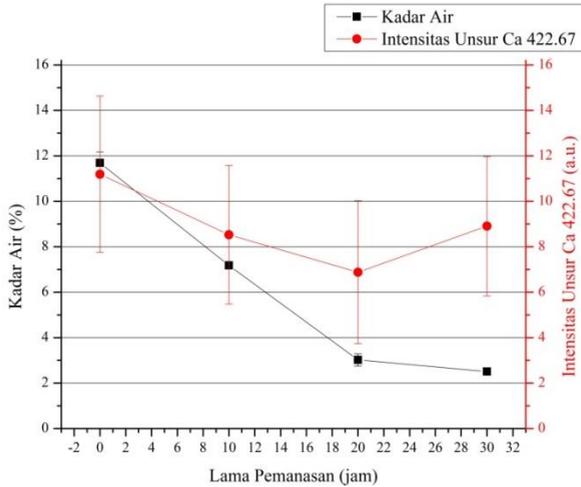


Gambar 4.10 Grafik Kadar Air dan Intensitas Unsur Ca 396.85

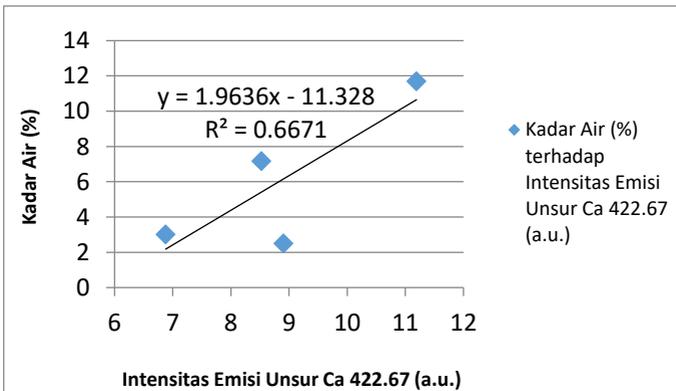


Gambar 4.11 Regresi Linear Unsur Ca 396.85

Pada Gambar 4.11 didapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) untuk persamaan regresi linear kadar air sebagai fungsi dari intensitas emisi unsur Ca 396.85 adalah sebesar 0.907. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh intensitas emisi unsur Ca 396.85 dalam menentukan nilai kadar air biji kopi arabika pada pemodelan tersebut adalah sebesar 90.7%.

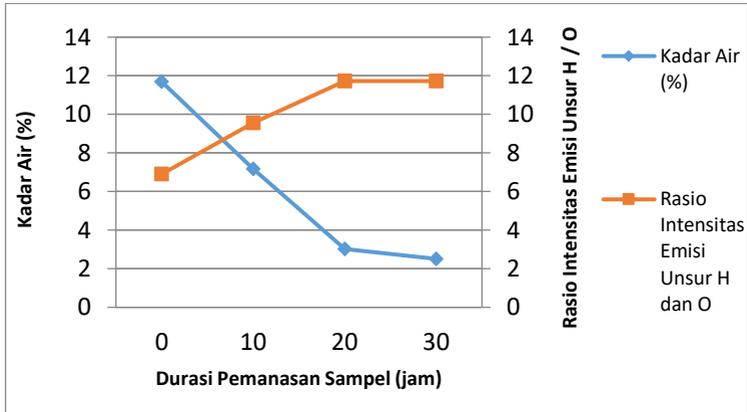


Gambar 4.12 Grafik Kadar Air dan Intensitas Unsur Ca 422.67

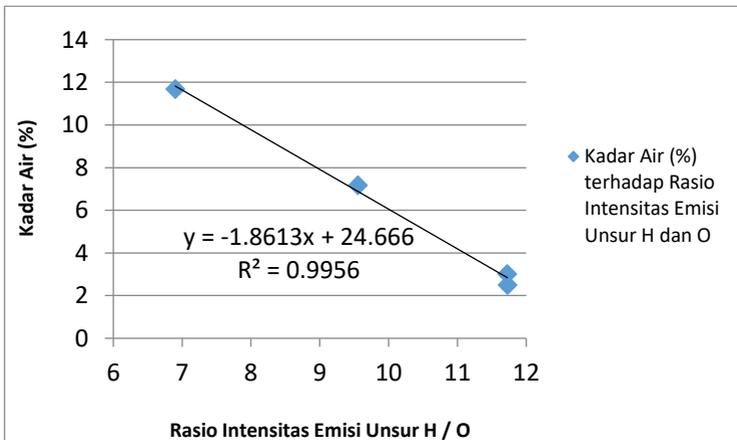


Gambar 4.13 Regresi Linear Unsur Ca 422.67

Pada Gambar 4.13 didapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) untuk persamaan regresi linear kadar air sebagai fungsi dari intensitas emisi unsur Ca 422.67 adalah sebesar 0.667. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh intensitas emisi unsur Ca 422.67 dalam menentukan nilai kadar air biji kopi arabika pada pemodelan tersebut adalah sebesar 66.7%.



Gambar 4.14 Grafik Kadar Air dan Rasio Intensitas H/O



Gambar 4.15 Regresi Linear Rasio Intensitas H/O

Pada Gambar 4.15 didapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) untuk persamaan regresi linear kadar air sebagai fungsi dari rasio intensitas emisi unsur H/O adalah sebesar 0.995. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh rasio intensitas emisi unsur H/O dalam menentukan nilai kadar air biji kopi arabika pada pemodelan tersebut adalah sebesar 99.5%.

Tabel 4.9 Analisa Regresi Linear

No.	Unsur	Koefisien Korelasi (R)	Koefisien Determinasi (R^2)	Kesalahan Standar Estimasi (Se)
1	C	-0.162241346	0.026322254	3.651945715
2	H	-0.684296891	0.468262235	2.698767331
3	O	0.91548322	0.838109527	1.48911191
4	Ca 396.85	0.952745978	0.907724899	1.124239798
5	Ca 422.67	0.816778951	0.667127855	2.135282882
6	H / O	-0.99779004	0.995584965	0.245914303

Berdasarkan Gambar 4.4 hingga Gambar 4.15 diketahui bahwa pendekatan melalui regresi linear rasio intensitas emisi unsur H/O adalah yang paling baik digunakan dalam menentukan kadar air pada biji kopi arabika. Yaitu dengan persamaan regresi $y = -1.861x + 24.66$ dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0.995. Pada Tabel 4.9 dapat dilihat hasil perhitungan koefisien korelasi (R), koefisien determinasi (R^2), dan kesalahan standar estimasi (Se) untuk unsur C, H, O, Ca 396.85, Ca 422.67, dan rasio intensitas emisi unsur H/O. dari hasil perhitungan diketahui bahwa regresi linear dari rasio intensitas emisi unsur H/O memiliki nilai koefisien korelasi (R) paling mendekati nilai -1 atau 1, nilai koefisien determinasi paling mendekati 1, dan nilai kesalahan standar estimasi (Se) paling kecil. Hal ini menunjukkan bahwa regresi linear dari rasio intensitas emisi unsur H/O adalah yang terbaik dalam menentukan nilai kadar air biji kopi arabika

dibandingkan dengan regresi linear dari unsur C, H, O, Ca 396.85, dan Ca 422.67. Pada regresi linear rasio intensitas emisi unsur H/O didapatkan nilai R sebesar -0.99779004, R^2 sebesar 0.995584965, dan Se sebesar 0.245914303. Nilai R tersebut menunjukkan bahwa korelasi antara rasio intensitas emisi unsur H/O dengan kadar air biji kopi arabika sangat kuat dan berbanding terbalik, artinya semakin besar nilai rasio intensitas emisi unsur H/O yang terbaca maka semakin kecil nilai kadar air biji kopi arabika dan sebaliknya. Nilai R^2 menunjukkan bahwa pengaruh rasio intensitas emisi unsur H/O terhadap kadar air adalah sebesar 99.5% sisanya 0.5% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak diketahui. Sedangkan nilai Se sebesar 0.25 menunjukkan bahwa akurasi model regresi linear rasio intensitas emisi unsur H/O dalam menentukan kadar air biji kopi arabika adalah sebesar $Y \pm 0.25$ dimana Y adalah nilai kadar air estimasi.

Tabel 4.10 Error Estimasi Kadar Air

No.	Waktu Pemanasan	Kadar Air (%)	Kadar Air Estimasi (%)	Error (%)
1	0 jam	11.69	11.818	0.128
2	10 jam	7.18	6.885	-0.295
3	20 jam	3.02	2.847	-0.173
4	30 jam	2.51	2.839	0.329

Kemudian dilakukan perhitungan error estimasi kadar air terhadap nilai kadar air hasil pengukuran menggunakan MC-7828G moisture meter untuk tiap kelompok sampel. Pada Tabel 4.10 dapat dilihat bahwa terjadi kecenderungan peningkatan nilai error seiring dengan berkurangnya nilai kadar air pada biji kopi arabika kecuali pada sampel dengan durasi pemanasan 20 jam. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal yaitu alat validator kadar air yang digunakan (MC-7828G) kurang sensitif pada nilai kadar air biji kopi di bawah 5% sehingga kemungkinan terjadi error pembacaan lebih besar pada nilai kadar air biji kopi di bawah 5%.

Selain itu biji kopi merupakan zat organik yang bersifat tidak homogen. Unsur H dan O pada biji kopi tidak memiliki konsentrasi yang sama pada tiap titiknya sehingga nilai standar deviasi intensitas emisi unturnya cenderung cukup tinggi. Namun estimasi nilai kadar air biji kopi arabika ini sudah cukup akurat karena nilai error tertinggi hanya sebesar 0.329% yaitu pada sampel dengan pemanasan 30 jam dan model regresi linear ini memiliki nilai kesalahan standar estimasi (Se) yang cukup rendah yaitu 0.25.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan tentang penentuan kadar air pada biji kopi arabika dengan teknik *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS), dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. LIBS dapat digunakan untuk menentukan kadar air pada biji kopi arabika. Kondisi optimum pengujian diperoleh pada energi laser 100 mJ, *delay time* 0.5 μ s, dan laju aliran gas He 20 mL/s.
2. Penentuan kadar air pada biji kopi arabika dilakukan dengan cara memasukkan nilai rasio intensitas emisi unsur H/O dari hasil pengujian LIBS ke dalam persamaan regresi linear $Y = -1.861X + 24.66$ dimana X adalah rasio intensitas emisi unsur H/O dan Y adalah kadar air (%).
3. Pada analisa regresi linear rasio intensitas emisi unsur H/O untuk pengujian sampel dengan kadar air 2.51%, 3.02%, 7.18%, dan 11.69% didapatkan nilai koefisien korelasi $R = -0.99779004$ menunjukkan hubungan rasio intensitas emisi unsur H/O dengan nilai kadar air biji kopi arabika sangat kuat dan berbanding terbalik, artinya semakin besar nilai rasio intensitas emisi unsur H/O yang terbaca maka semakin kecil nilai kadar air biji kopi arabika dan sebaliknya. Didapatkan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0.995584965$ menunjukkan pengaruh rasio intensitas emisi unsur H/O terhadap kadar air adalah sebesar 99.5% sisanya 0.5% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak diketahui. Didapatkan nilai kesalahan standar estimasi $Se = 0.245914303$ menunjukkan bahwa akurasi penentuan kadar air dengan LIBS adalah $\pm 0.25\%$ sedangkan akurasi MC-7828G *grain moisture meter* adalah $\pm 0.5\%$. Hal ini menunjukkan bahwa LIBS memiliki akurasi yang lebih tinggi dibandingkan MC-7828G *grain moisture meter*.
4. Nilai kadar air 2.5% ditunjukkan dengan nilai rasio intensitas emisi unsur H/O sebesar 11.90867648 dan nilai kadar air

11.7% ditunjukkan dengan nilai rasio intensitas emisi unsur H/O sebesar 6.965937896. Setiap peningkatan kadar air sebesar 0.1% setara dengan penurunan rasio intensitas emisi unsur H/O sebesar 0.053725419. Hasil penentuan kadar air berdasarkan rasio intensitas emisi unsur H/O dari pengujian LIBS selengkapnya dapat dilihat pada lampiran C Tabel C.1.

5.2 Saran

Dalam pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini, terdapat beberapa hal yang dapat dikembangkan lebih lanjut agar penelitian ini dapat bermanfaat bagi masyarakat. Saranyang penulis berikan antara lain:

1. Untuk meningkatkan ketelitian penentuan kadar air dengan teknik LIBS perlu dilakukan pengambilan data intensitas emisi unsur Ca dengan range kadar air sampel biji kopi yang lebih luas. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara menggunakan sampel mulai dari buah kopi matang yang sudah dibuang daging buah dan cangkang bijinya dan memiliki nilai kadar air yang tinggi hingga sampel berupa biji kopi *dark roasted* yang memiliki nilai kadar air rendah.
2. Untuk alat ukur kalibrasi kadar air biji kopi selain menggunakan alat grain moisture meter dapat ditambah dengan menggunakan metode oven (AOAC, 1984) atau metode lain yang lebih akurat sehingga pengukuran kadar air menjadi lebih akurat.
3. Perlu dilakukan interface pada sistem agar sistem dapat terintegrasi dalam melakukan pengukuran kadar air pada biji kopi.
4. Jenis sampel dapat ditambahkan seperti kopi robusta ataupun jenis biji-bijian lainnya seperti jagung, kedelai, beras, dan sebagainya yang memerlukan pengukuran serta pengaturan kadar air pada proses produksinya.

DAFTAR PUSTAKA

- AOAC. 1995. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist**. Washington.
- Cremers, David A. dan L.J. Radziemski. 2013. **Handbook of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy Second Edition**. John Wiley.
- Gauglitz, G. dan T. Vo-Dinh. 2003. **Handbook of Spectroscopy**. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. ISBN 3-527-29782-0.
- Grain Moisture Meter MC-7828G, MC-7825G, MC-7821 Catalog**. Digital Instrument.
- Kim, Taesam dan Chhiu-Tsu Lin. 2012. **Chapter 5 Laser Induced Breakdown Spectroscopy**. <http://dx.doi.org/10.5772/48281>.
- Liu, Yuan, dkk. "*Correlation Between Laser-Induced Breakdown Spectroscopy Signal and Moisture Content*". Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy 73 (2012): 71-74.
- Nadia, Lula. **Modul 1: Analisis Kadar Air Bahan Pangan**. Praktikum Kimia dan Analisis Pangan.
- Najiyati, Sri dan Danarti. 2004. **Budidaya Tanaman Kopi dan Penanganan Pasca Panen**. Penebar Swadaya: Jakarta.
- Photon Machine : AddLIBSTM and OOLIBS software. 2009. **Laser-Induced Breakdown Spectroscopy and User Guide, Version 2**.
- Puspa Wirani, Ayu. 2016. "*Analisis Penciri Spektral dari Hasil Proses Sangrai Biji Kopi Hijau Jenis Arabika dan Robusta Menggunakan LIBS (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy)*". Tugas Akhir Program Studi S1 Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rachmi Nurbahar, Irmijati. 2016. **Statistik Perkebunan Indonesia: Kopi 2015-2017**. Direktorat Jendral Perkebunan.
- Rahardjo, Pudji. 2012. **Panduan Budidaya dan Pengolahan Kopi Arabika dan Robusta**. Penebar Swadaya : Jakarta.

- Riniarsi Triyanti, Dyah. 2016. **Outlook Kopi**. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Sekretariat Jendral-Kementrian Pertanian. ISSN: 1907-1507.
- Standar Nasional Indonesia Nomor 01-2907-2008.**
- Suyanto, Hery dkk. 2015. “Karakterisasi Unsur Hidrogen dan Oksigen dalam Sampel Polimer Organik dengan LIBS”. **Seminar Nasional Sains dan Teknologi**.
- Ukers, William H.. 2009. **All About Coffee**. K.D. Thornton, Suzanne Lybarger, Greg Bergquist and the Online Distributed Proofreading Team.
- Varnam, H.A. dan J.P. Sutherland. 1994. **Beverages (Technology, Chemistry and Microbiology)**. Chapman and Hall : London.
- Walpole, Ronald E. dan Myers, Raymond H. 1995. **Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuan**. Edisi 4. ITB: Bandung.

LAMPIRAN A Intensitas Emisi Unsur

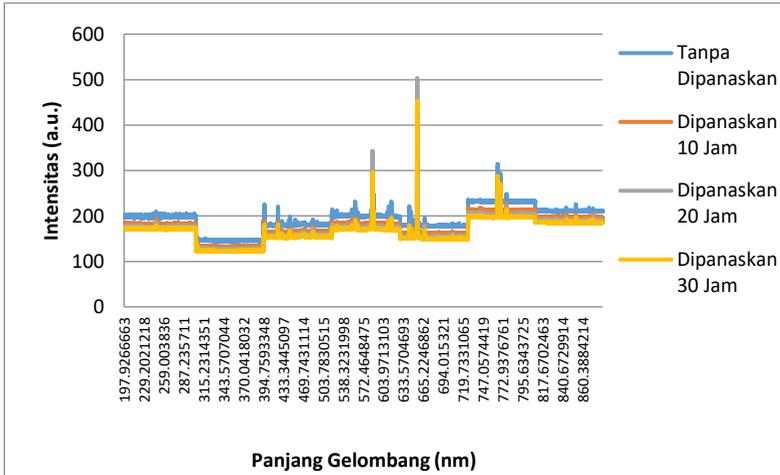
Tabel A.1 Luas Area Dibawah Kurva

Unsur	Sampel	Luas Area Kurva									Average
		Sampel ke									
		1			2			3			
		Titik ke			Titik ke			Titik ke			
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
O	Tanpa Dipanaskan	14.79113		10.86708	9.60139						11.7532
	Dipanaskan 10 Jam	9.90709	6.73427	8.68282	10.2761	8.53036	7.5011				8.60529
	Dipanaskan 20 Jam	13.02385	8.23036	5.71245	11.53557	10.07393	5.51097	9.26052	5.6912		8.629856
	Dipanaskan 30 Jam		8.83664	6.37312	6.03914	8.91253	6.9085	6.13688	8.60581		7.401803
H	Tanpa Dipanaskan	137.4488	64.3152	94.01326	103.6024	84.70809	96.69759	52.58552	53.35265	43.20671	81.10336
	Dipanaskan 10 Jam	128.9852	73.18608	97.27983	66.89939	69.52071	83.82692	92.3937	69.92217	57.70636	82.19116
	Dipanaskan 20 Jam	153.65	86.56435	80.16866	139.1627	90.24108	92.92381	106.5995	71.74699	89.32119	101.1531
	Dipanaskan 30 Jam	44.71368	96.15213	55.97296	52.496	128.1333	132.4412	101.732	82.65849		86.78746
C	Tanpa Dipanaskan	3.09461		2.89463	2.36452						2.784587
	Dipanaskan 10 Jam	3.26851	4.9115		7.74566	2.97285					4.72463
	Dipanaskan 20 Jam	3.12064		2.98176	2.44278	8.35396					4.224785
	Dipanaskan 30 Jam		2.0602			3.3815					2.72085
Ca 396.8467	Tanpa Dipanaskan	41.57893	16.1675	25.68988	19.94848	14.09155	10.76319				21.37326
	Dipanaskan 10 Jam	13.75534	5.61316	10.58907	26.00275			16.77073			14.54621
	Dipanaskan 20 Jam	11.25		4.92895	18.30185	22.89474		12.3633	10.35701		13.34931
	Dipanaskan 30 Jam	10.80941	13.19876	11.12262	10.57754	22.60464			4.6738		12.16446
Ca 422.6727	Tanpa Dipanaskan	16.32712	9.68001	14.32398	9.89233	9.90374	7.02763				11.19247
	Dipanaskan 10 Jam	8.14695	4.44274	7.02804	11.90729			11.10135			8.525274
	Dipanaskan 20 Jam	6.77043		3.55861	9.4448	11.75023		4.77873	4.9688		6.8786
	Dipanaskan 30 Jam	8.0013	9.69099	9.36694	8.89707	13.4962			3.98407		8.906095

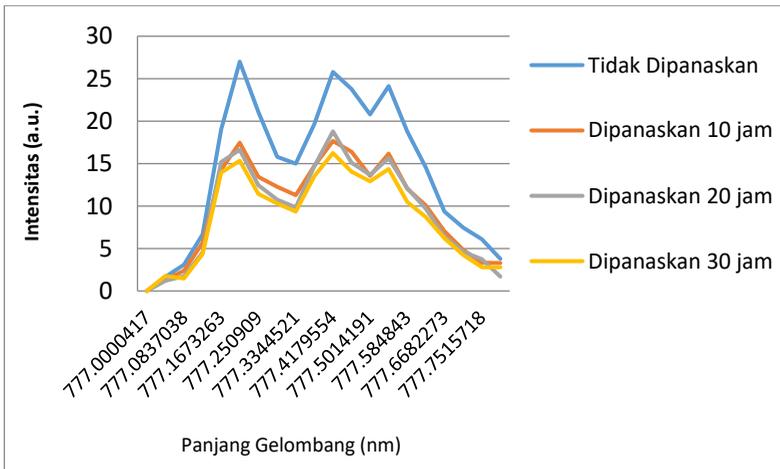
Keterangan : kolom yang berwarna hitam menunjukkan bahwa pada pengambilan data dengan LIBS di titik tersebut tidak muncul intensitas emisi unsur terkait

LAMPIRAN B

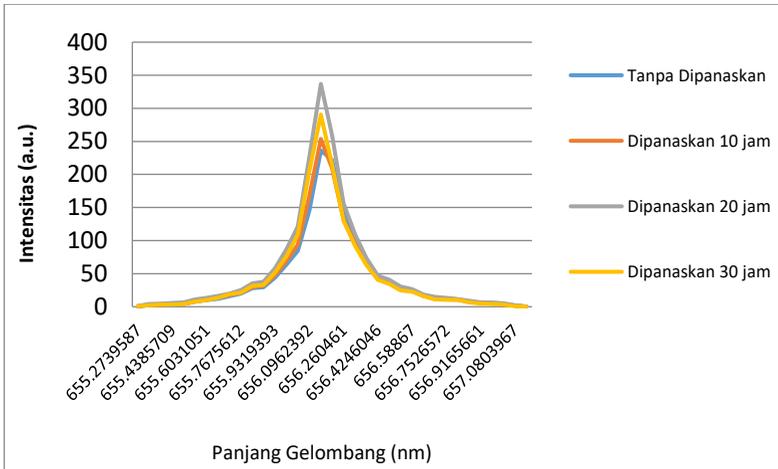
Spektra Unsur



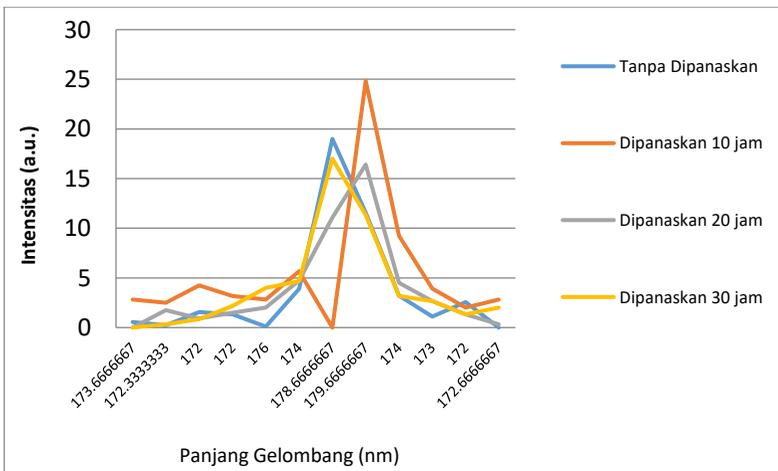
Gambar B.1 Perbandingan Spektra Tiap Kelompok Sampel



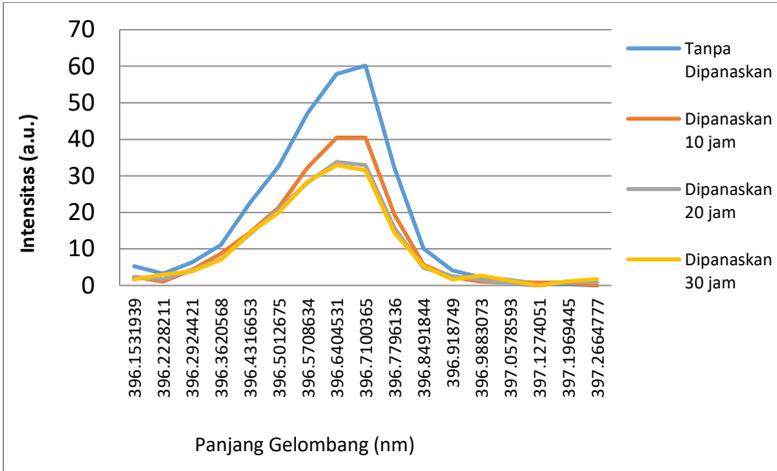
Gambar B.2 Perbandingan Spektra Unsur O



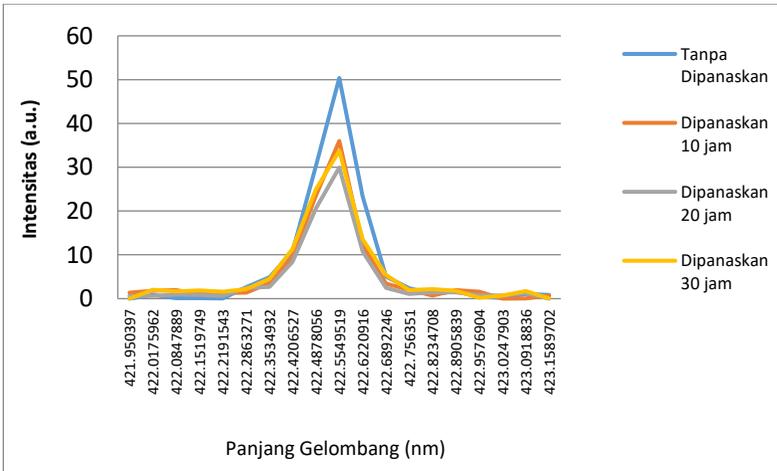
Gambar B.3 Perbandingan Spektra Unsur H



Gambar B.4 Perbandingan Spektra Unsur C



Gambar B.5 Perbandingan Spektra Unsur Ca 396.85



Gambar B.6 Perbandingan Spektra Unsur Ca 422.67

LAMPIRAN C
Penentuan Kadar Air

Tabel C.1 Penentuan Kadar Air

Rasio H/O	Kadar Air (%)	Rasio H/O	Kadar Air (%)	Rasio H/O	Kadar Air (%)	Rasio H/O	Kadar Air (%)	Rasio H/O	Kadar Air (%)	Rasio H/O	Kadar Air (%)	Rasio H/O	Kadar Air (%)
≥13.25181197	0	12.17730358	2	11.10279519	4	10.0282868	6	8.953778414	8	7.879270026	10	6.804761638	12
13.19808655	0.1	12.12357816	2.1	11.04906977	4.1	9.974561383	6.1	8.900052995	8.1	7.825544607	10.1	6.751036219	12.1
13.14436113	0.2	12.06985274	2.2	10.99534435	4.2	9.920835964	6.2	8.846327576	8.2	7.771819187	10.2	6.697310799	12.2
13.09063571	0.3	12.01612732	2.3	10.94161893	4.3	9.867110544	6.3	8.792602156	8.3	7.718093768	10.3	6.64358538	12.3
13.03691029	0.4	11.9624019	2.4	10.88789351	4.4	9.813385125	6.4	8.738876737	8.4	7.664368349	10.4	6.58985996	12.4
12.98318487	0.5	11.90867648	2.5	10.83416809	4.5	9.759659706	6.5	8.685151317	8.5	7.610642929	10.5	6.536134541	12.5
12.92945945	0.6	11.85495106	2.6	10.78044267	4.6	9.705934286	6.6	8.631425898	8.6	7.55691751	10.6	6.482409121	12.6
12.87573403	0.7	11.80122564	2.7	10.72671726	4.7	9.652208867	6.7	8.577700479	8.7	7.50319209	10.7	6.428683702	12.7
12.82200861	0.8	11.74750022	2.8	10.67299184	4.8	9.598483447	6.8	8.523975059	8.8	7.449466671	10.8	6.374958283	12.8
12.76828319	0.9	11.6937748	2.9	10.61926642	4.9	9.544758028	6.9	8.47024964	8.9	7.395741251	10.9	6.321232863	12.9
12.71455777	1	11.64004939	3	10.565541	5	9.491032609	7	8.41652422	9	7.342015832	11	6.267507444	13
12.66083235	1.1	11.58632397	3.1	10.51181558	5.1	9.437307189	7.1	8.362798801	9.1	7.288290413	11.1	6.213782024	13.1
12.60710693	1.2	11.53259855	3.2	10.45809016	5.2	9.38358177	7.2	8.309073381	9.2	7.234564993	11.2	6.160056605	13.2
12.55338152	1.3	11.47887313	3.3	10.40436474	5.3	9.32985635	7.3	8.255347962	9.3	7.180839574	11.3	6.106331186	13.3
12.4996561	1.4	11.42514771	3.4	10.35063932	5.4	9.276130931	7.4	8.201622543	9.4	7.127114154	11.4	6.052605766	13.4
12.44593068	1.5	11.37142229	3.5	10.2969139	5.5	9.222405512	7.5	8.147897123	9.5	7.073388735	11.5	5.998880347	13.5
12.39220526	1.6	11.31769687	3.6	10.24318848	5.6	9.168680092	7.6	8.094171704	9.6	7.019663316	11.6	5.945154927	13.6
12.33847984	1.7	11.26397145	3.7	10.18946306	5.7	9.114954673	7.7	8.040446284	9.7	6.965937896	11.7	5.891429508	13.7
12.28475442	1.8	11.21024603	3.8	10.13573764	5.8	9.061229253	7.8	7.986720865	9.8	6.912212477	11.8	5.837704089	13.8
12.231029	1.9	11.15652061	3.9	10.08201222	5.9	9.007503834	7.9	7.932995446	9.9	6.858487057	11.9	5.783978669	13.9

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Bandung, 18 Desember 1991. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SD Negeri 37 Mataram, SMP Negeri 11 Mataram, dan SMA Negeri 1 Mataram. Setelah lulus SMA pada tahun 2011 penulis menempuh pendidikan S1 Teknik Fisika FTI-Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selain kegiatan perkuliahan penulis juga aktif dalam organisasi kampus seperti UKM Merpati Putih ITS dan Lembaga Minat Bakat (LMB) ITS. Penulis dapat dihubungi melalui email pramaeko@gmail.com.