

Penghitungan Rasio Intensitas Ca (II) 396,8 nm dan Ca (I) 422,6 nm pada Sampel Tasbih Asli dan Imitasi menggunakan Metode Laser Induced Shock wave plasma (LISPS)

Ali Khumaeni, W. Setia Budi, K. S. Firdausi

Laboratorium riset, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan alam, Universitas Diponegoro, Kampus Tembalang, Semarang, 50275, Indonesia

ABSTRACT

Spectral analysis of elemental bead samples has been done using Laser Induced Shock Wave Plasma (LISPS). This experiment is aim to distinguish between bead samples from fresh white coral and its artificial from hardwood through determination of spectral intensity of Ca(II) 396,8 nm and Ca(I) 422,6 nm. The samples are held by 10 torr and induced by NdYAG Laser 1064 nm in wavelength. Results show that the original and artificial samples can be distinguished from ratio of intensity at 1,68 : 0,80 both for white coral and its artificial from hardwood through determination of spectral intensity of Ca (II) 396,8 nm dan Ca (I) 422,6 nm respectively.

INTISARI

Telah dilakukan analisis unsur dengan metode Laser Induced Shock wave plasma (LISPS) menggunakan laser Nd YAG (1064 nm, 8 ns, 30 mJ) pada tekanan 10 torr pada sampel tasbih. Penelitian dilakukan untuk membedakan sampel tasbih asli terbuat dari karang putih segar (fresh white coral) dari imitasinya terbuat dari kayu keras (hardwood) dengan menghitung rasio Ca (II) 396,8 nm dan Ca (I) 422,6 nm. Dari penelitian, sampel tasbih asli dapat dibedakan dengan imitasinya dengan mengukur rasio intensitas Ca (II) 396,8 nm dan Ca (I) 422,6 nm masing-masing sebesar 1,68 dan 0,80.

Kata kunci :Sampel tasbih asli dan imitasi, Laser Induced Shock wave plasma, rasio Ca (II) dan Ca I)

PENDAHULUAN

Tasbih adalah semacam kalung sebagai alat bantu untuk berdo'a dalam agama Islam, Kristen Protestan, Kristen Katholik, Hindu, dan Budha. Umumnya sebuah tasbih terdiri dari 99 batu. Namun ada juga tasbih yang terdiri dari 108 batu yang biasanya digunakan oleh umat Budha.

Sebagian besar tasbih asli terbuat dari material organik salah satunya terbuat dari karang putih segar (*fresh white cora*). Namun demikian, saat ini juga telah beredar sampel tasbih imitasi terbuat dari kayu keras (*hardwood*) di pasaran. Keberadaan sampel tasbih palsu tersebut telah berkembang pesat mengingat harga sampel tasbih asli yang cukup mahal dibandingkan dengan harga sampel tasbih imitasi. Harga tasbih asli terbuat dari karang putih segar mencapai 200 ribu

sampai 1 juta rupiah per butir, sedangkan imitasinya, terbuat dari kayu keras, hanya 50 ribu rupiah per butir. Setiap sampel tasbih imitasi mempunyai kemiripan secara geometri maupun fisis dengan sampel tasbih asli. Hal ini akan menimbulkan kesulitan dalam membedakan sampel tasbih asli dan imitasi. Oleh karena itu, saat ini telah dikembangkan berbagai metode spektroskopi untuk mengetahui perbedaan sampel tasbih asli dan imitasi dengan cara menganalisis unsur dalam sampel¹⁾.

Berbagai metode spektroskopi telah banyak dikembangkan dalam tiga dekade terakhir ini. Salah satu aplikasi dari metode ini adalah untuk menentukan komposisi kuantitatif bahan dalam mendeteksi kandungan unsur-unsur yang ada di dalamnya. Dengan mendeteksi berbagai unsur yang terkandung dalam suatu bahan,

metode ini bisa digunakan untuk proses kontrol dan penilaian kualitas suatu produk. Beberapa metode spektroskopi yang sangat populer antara lain metode *Laser Microprobe Analyzer (LMA)*, metode *Atomic Absorption Spectrometry (AAS)*, dan metode *Atomic Emission Spectrometry (AES)* ²⁾.

Metode LMA dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi berbagai jenis unsur kimia dengan menggunakan elektroda bantu. Akan tetapi, metode ini mempunyai kelemahan seperti timbulnya kontaminasi oleh bahan elektroda bantu pada spektrum emisi dan memiliki kekurangan dalam hal ketelitian dan sensitivitasnya ³⁾.

Metode AAS merupakan metode analisis spektrokimia yang berkembang pesat saat ini. Metode ini telah digunakan secara luas untuk menentukan keberadaan unsur logam dan nonlogam dalam sampel. Penggunaan dari metode ini diantaranya untuk menentukan prosedur standar kualitas air dengan kandungan garam yang rendah. Selain itu, metode ini juga digunakan di bidang industri metalurgi dan pertambangan untuk analisis kandungan logam. Namun demikian, metode ini mempunyai kelemahan diantaranya masih memerlukan perlakuan awal pada sampel yaitu bahan yang akan dianalisis dilarutkan dengan memakai larutan asam yang dapat mencemari lingkungan ⁴⁾.

Metode AES merupakan metode spektroskopi yang dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif bahan. Metode ini merupakan metode yang sangat tepat digunakan untuk analisis bahan karena setiap unsur yang terkandung dalam bahan mampu mengemisikan karakteristik spektra khusus pada kondisi tertentu. Metode ini dapat digunakan untuk mendeteksi secara langsung kandungan unsur dalam suatu bahan. Namun demikian, metode ini mempunyai kelemahan yaitu diperlukan tegangan tinggi 10-50 kV ⁵⁾.

Dengan ditemukannya laser daya tinggi dan kualitas berkasnya yang baik, proses penguapan dan eksitasi atom dari sampel tidak lagi memerlukan elektroda bantu sehingga tidak lagi terjadi kontaminasi dari elektroda bantu. Hal ini memungkinkan metode baru yang aplikasinya menjadi sangat menarik karena tidak diperlukan perlakuan khusus sebelum analisis. Metode baru yang dikembangkan adalah metode analisis bahan melalui analisis plasma, sehingga analisis bahan menjadi makin cepat dan praktis. Dengan sistem plasma yang dibangkitkan dengan penembakan laser, sampel dapat dianalisis kandungan unsurnya dengan cepat ⁶⁾.

Apabila sampel ditembak dengan laser daya tinggi maka akan terbentuk plasma. Disimpulkan bahwa sampel mampu mengemisikan berbagai unsur dan molekul baik atomik maupun ionik. Teknik tersebut kemudian disebut dengan *Laser Atomic Emission Spectrochemical Analysis (LAESA)* ⁷⁾.

Teknik LAESA dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu teknik *Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)* dan teknik *Laser Induced Shockwave Plasma Spectroscopy (LISPS)*. LIBS merupakan metode spektroskopi yang dilakukan pada kondisi tekanan atmosfer. Teknik ini didasarkan pada analisis garis emisi plasma yang dihasilkan dengan cara memfokuskan laser pulsa berdaya tinggi pada sampel pada kondisi tekanan atmosfer ⁸⁾. Sedangkan LISPS merupakan metode spektroskopi yang dilakukan pada kondisi tekanan rendah ⁹⁾.

Laser pulsa berdaya tinggi yang difokuskan pada permukaan sampel dengan kondisi tekanan rendah (10 torr) akan menghasilkan plasma di atas permukaan sampel. Plasma ini terdiri atas dua daerah yang nampak yaitu plasma primer dan plasma sekunder. Plasma tersebut akan memancarkan cahaya dari berbagai macam panjang gelombang tergantung dari sampel yang akan

diidentifikasi. Cahaya yang dipancarkan oleh plasma merupakan hasil eksitasi atom-atom dalam sampel yang diakibatkan oleh penembakan sampel dengan laser daya tinggi. Pembangkitan plasma melalui penembakan laser hanya terjadi pada daerah yang kecil (*insitu*) sehingga hanya mengeksitasi atom-atom dari sebagian kecil permukaan sampel. Emisi cahaya yang dihasilkan oleh plasma merupakan representasi dari kandungan sampel⁷⁾.

Selama ini, identifikasi unsur pada sampel organik dilakukan dengan menggunakan metode LIBS. Metode ini mempunyai kelemahan akan menghasilkan lubang yang dalam (*depth crater*) untuk sampel organik yang bersifat lunak (*soft samples*) sehingga intensitas plasma yang dihasilkan akan semakin menurun. Selain itu, emisi plasma unsur ringan, seperti hidrogen dan karbon, yang terkandung dalam sampel akan lemah pada kondisi tekanan atmosfer¹⁾.

Penggunaan metode LISPS sangat baik untuk identifikasi unsur pada sampel organik. Beberapa kelebihan metode ini diantaranya tidak merusak sampel (*nondestructive methode*), dan mampu mengidentifikasi unsur, seperti unsur hidrogen dan unsur karbon, dengan baik¹⁰⁾. Beberapa penggunaan metode ini yang telah dilakukan diantaranya untuk analisis unsur pada air⁹⁾ analisis unsur pada sampel kaca¹¹⁾ analisis spektrum pada sampel serbuk CuCl_2 , NaCl , dan ZnS ¹²⁾, analisis intensitas garis emisi pada sampel logam¹³⁾, dan analisis emisi atom hidrogen pada sampel padat¹⁴⁾.

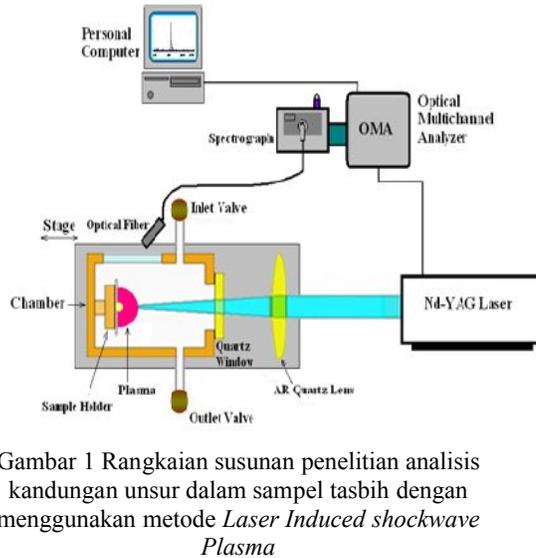
Pada penelitian ini akan diteliti tentang kemampuan metode LISPS untuk membedakan sampel tasbih asli dan imitasi dengan mengukur rasio intensitas relatif unsur Ca (II) 396,8 nm dan Ca (I) 422,6 nm. Penelitian ini sangat penting dikarenakan sampel tasbih asli merupakan

sampel organik yang mempunyai harga relatif mahal.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sampel tasbih asli yang terbuat dari karang putih segar (*fresh white coral*) dan sampel tasbih imitasi yang terbuat dari kayu keras (*hardwood*). Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah Laser Nd YAG (Quanta Ray, LAB SERIES, 8 ns, 1064 nm, 450 mJ) dioperasikan dengan Q-sw 10 Hz dengan energi output 30 mJ digunakan sebagai sumber energi evaporasi atom dan molekul pada sampel tasbih, *vacum tight metal Chamber* dengan ukuran 11 cm x 11 cm x 12,5 cm dengan dilengkapi katup pipa pompa vakum digunakan sebagai tempat sampel dengan kondisi tekanan sekitar sampel yang dapat diubah-ubah, *optical Multichannel Analyzer* (OMA system, Princeton Instrument IRY-700) dilengkapi dengan serat optik digunakan untuk mengetahui spektrum emisi plasma, pirani meter digital (DIAVAC, PT-1DA) digunakan untuk memonitor tekanan udara dalam *chamber* dan lensa *multicoating* dengan jarak fokus 150 cm digunakan untuk memfokuskan sinar laser pada permukaan sampel tasbih.

Susunan peralatan yang digunakan untuk penelitian ditunjukkan pada gambar 1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan laser Nd YAG 1064 nm (Quanta Ray, 450 mJ, durasi pulsa 8 ns) dioperasikan *Q switched mode* dengan energi keluaran dari laser sebesar 30 mJ. Densitas daya yang dihasilkan laser pada permukaan sampel sebesar 1 GW/cm^2 . Sinar laser difokuskan ke permukaan sampel yang akan diidentifikasi kandungan unsur dengan menggunakan lensa *multicoating* yang mempunyai jarak fokus $f = 150 \text{ mm}$.



Gambar 1 Rangkaian susunan penelitian analisis kandungan unsur dalam sampel tasbih dengan menggunakan metode *Laser Induced shockwave Plasma*

Penentuan unsur Ca (II) 396,8 nm dan Ca (I) 422,6 nm dalam sampel tasbih dilakukan dengan mengukur intensitas emisi plasma pada panjang gelombangnya. Selanjutnya dengan bantuan serat optik dikirim ke sistem OMA dan hasil pengamatan spektrum dicetak pada printer. Panjang gelombang emisi yang diperoleh dibandingkan dengan panjang gelombang yang terdapat pada *Table Book Standard Reference Material*¹⁵⁾.

Parameter yang digunakan untuk membedakan sampel tasbih asli terbuat dari karang putih segar (*fresh white coral*) dan imitasinya terbuat dari kayukeras (*hardwood*) adalah dengan menghitung rasio Ca (II) 396,8 nm dan Ca (I) 422,6 nm. Sampel tasbih asli menunjukkan rasio intensitas yang lebih besar dibandingkan dengan tasbih imitasi.

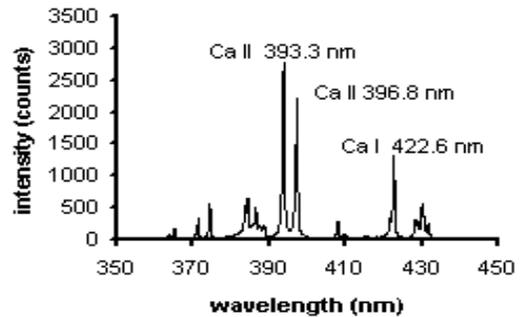
HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode nondestruktif pada pembangkitan plasma gelombang kejut untuk identifikasi unsur pada sampel tasbih (*bead samples*) dilakukan untuk menjaga keaslian sampel tasbih. Dari eksperimen dengan menembakkan laser pulsa daya tinggi Nd YAG (1,064 nm, 30 mJ, 8 ns) pada sampel tasbih terbuat dari karang putih segar (*fresh white coral*), dan kayu keras (*hardwood*) diperoleh emisi unsur

karbon, magnesium, kalsium, sodium, dan hidrogen yang terkandung dalam sampel.

Spektrum Emisi Sampel Karang Putih Segar (*Fresh White Coral Sample*)

Spektrum emisi dari sampel karang putih segar ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Spektrum emisi pada sampel karang putih segar (*fresh white coral sample*) yang ditembak dengan menggunakan laser Nd YAG (1064 nm, 30 mJ, 8 ns) kondisi tekanan 10 torr.

Karakteristik berbagai spektra yang merepresentasikan kandungan unsur pada sampel karang putih segar menunjukkan intensitas yang berbeda-beda. Perbedaan intensitas spektra dipengaruhi oleh faktor internal dan faktor eksternal. Beberapa faktor internal diantaranya tingkat energi elektronik dari atom, populasi atom pada setiap tingkat energi, dan probabilitas perpindahan atom ke tingkat energi yang lebih tinggi. Sedangkan faktor eksternal yang mempengaruhi diantaranya energi dari laser yang digunakan untuk evaporasi atom, panjang gelombang sinar laser, dan efektifitas emisi.

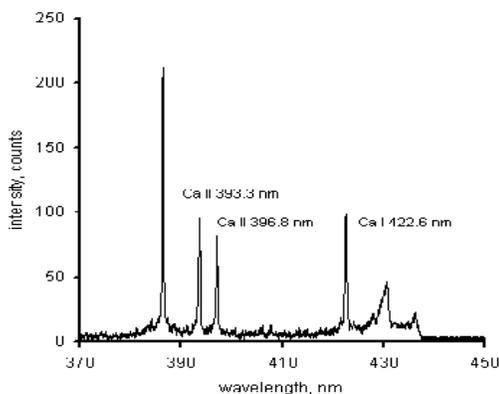
Kandungan unsur pada sampel karang putih segar ditunjukkan dengan menentukan nilai intensitas relatif unsur. Gambar 2 menunjukkan emisi ion kalsium Ca (II) pada panjang gelombang 393,3 nm dan 396,8 nm serta emisi atom netral Ca (I) pada panjang gelombang 422,6 nm. Perbandingan intensitas Ca (II) 396,8 nm dan Ca (I) 422,6 nm pada sampel karang putih segar adalah 1,68, sedangkan pada sampel imitasinya yang terbuat dari sampel kayu keras adalah 0,80. Hasil ini menunjukkan semakin tinggi rasio Ca (II)

dan Ca (I), maka tingkat kekerasan sampel juga akan semakin besar. Rasio ini dapat digunakan untuk membedakan sampel asli terbuat dari karang putih segar dengan sampel imitasi terbuat dari kayu keras.

Spektrum Emisi Sampel kayu keras (Hardwood Sample)

Spektrum emisi dari sampel kayu keras ditunjukkan pada gambar 3.

Karakteristik dari berbagai spektra yang merepresentasikan kandungan unsur pada sampel kayu keras menunjukkan intensitas yang berbeda-beda.



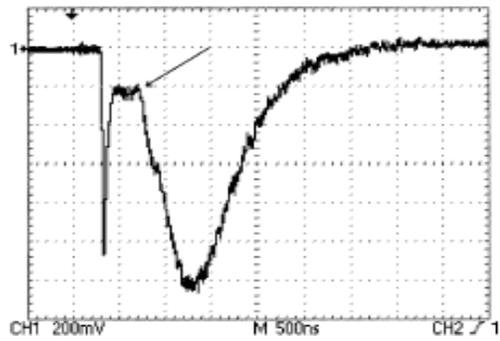
Gambar 3. Spektrum emisi pada sampel kayu keras (Hardwood) yang ditembak dengan menggunakan laser Nd YAG (1,064 nm, 30 mJ, 8 ns) kondisi tekanan 10 torr.

Kandungan unsur pada sampel kayu keras ditunjukkan dengan menentukan nilai intensitas relatif unsur. Gambar 3 menunjukkan emisi ion kalsium Ca (II) pada panjang gelombang 393,3 nm dan 396,8 nm serta emisi atom netral Ca (I) pada panjang gelombang 422,6 nm. Perbandingan intensitas Ca (II) 396,8 nm dan Ca (I) 422,6 nm pada sampel ini adalah 0,80. Hasil ini menunjukkan rasio yang lebih rendah dibandingkan pada sampel karang putih segar yaitu sebesar 1,68. Dari perbedaan ini diketahui bahwa sampel kayu keras lebih lunak dibandingkan dengan sampel karang putih segar. Rasio ini dapat digunakan untuk membedakan sampel yang asli terbuat dari

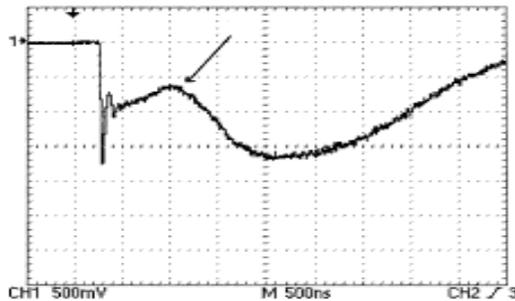
karang putih segar dengan yang imitasi terbuat dari kayu keras.

Dari data yang diperoleh menunjukkan adanya rasio ion kalsium Ca (II) dan kalsium netral Ca (I) yang berbeda-beda setiap sampel. Data tersebut menunjukkan adanya perbedaan tingkat kekerasan setiap sampel. Rasio antara Ca (II) dan Ca (I) masing-masing pada sampel karang putih segar dan sampel kayu keras adalah 1,68; 0,8. Semakin tinggi rasio Ca (II) dan Ca (I), maka akan semakin tinggi tingkat kekerasan sebuah sampel. Ketika laser Nd YAG (1,064 nm, 30 mJ, 8 ns) mengenai sampel, atom-atom netral penyusun dari sampel akan terevaporasi dari sampel dengan diikuti oleh ionisasi atom yang berada di belakang gelombang kejut (*shock front*). Ketika gelombang tersebut berekspansi dengan kecepatan yang sangat tinggi, ionisasi atom yang terablasti akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan adanya kenaikan temperatur di belakang gelombang kejut. Peristiwa tersebut akan menghasilkan kenaikan intensitas emisi ionik atom Ca yang signifikan dibandingkan dengan intensitas emisi netral atom Ca. Selain itu, peristiwa ini hanya terjadi pada atom-atom yang mempunyai energi ionisasi rendah seperti atom kalsium. Intensitas emisi ionik dari atom Ca pada sampel keras (*hard sample*) lebih tinggi dibandingkan dengan emisi atom netral. Sebaliknya intensitas emisi ionik pada atom Ca pada sampel lunak (*soft sample*) cukup lemah. Hal ini terjadi karena kecepatan gelombang kejut yang dihasilkan pada sampel lunak sangat rendah. Kecepatan tersebut dipengaruhi oleh gaya repulsif pada permukaan sampel lunak¹⁷⁾.

Penelitian yang dilakukan oleh Kagawa *et al* (2005) dengan menembakkan laser Nd YAG (400 mJ, 5 ns) pada permukaan sampel granit dan beton (*concrete*) diperoleh hasil *time profile* dari ion kalsium Ca (II) sebagaimana diperlihatkan pada gambar 4.



(a)



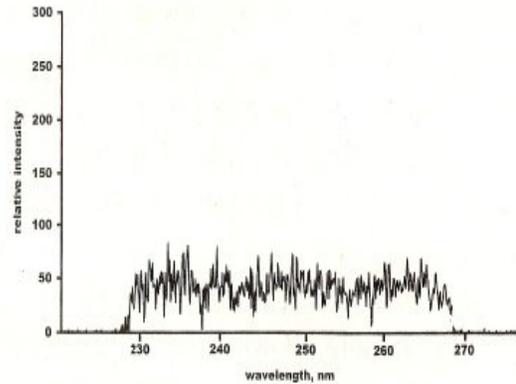
(b)

Gambar 4. Time profile dari ion kalsium Ca (II) yang diamati 2 mm dari, a) permukaan sampel granit, b) permukaan sampel beton¹⁷⁾

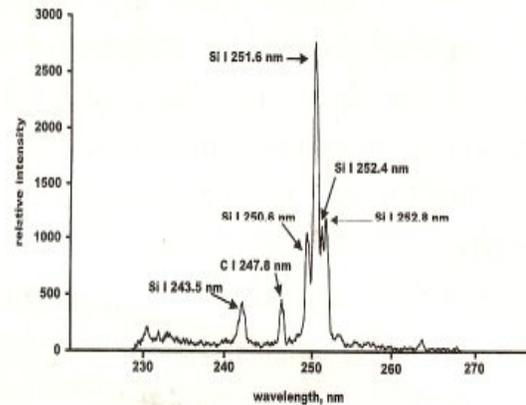
Gambar 4 menunjukkan waktu yang diperlukan untuk melakukan emisi dari awal penembakan laser sampai emisi maksimum. Dari gambar tersebut diperoleh untuk sampel granit dan beton masing-masing sebesar 430 ns dan 860 ns. Data tersebut menjelaskan bahwa waktu yang dibutuhkan sampel granit untuk melakukan emisi maksimum lebih cepat dibandingkan dengan sampel beton. Ukuran diameter plasma yang dihasilkan dari kedua sampel sebesar 2 mm. Oleh karena itu, kecepatan rata-rata emisi dari sampel granit dan sampel beton masing-masing sebesar 4,7 km/s dan 2,4 km/s. sehingga dari kedua pengukuran tersebut sampel granit mempunyai tingkat kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan sampel beton.

Penelitian yang dilakukan oleh Suliyanti *et al* (1998) dengan

membandingkan intensitas sampel minyak silikon yang ditembak dengan menggunakan laser (TEA) CO₂ 50 mJ, 100 ns tanpa subtarget dan menggunakan subtarget berupa plat tembaga (Cu) menghasilkan nilai intensitas yang sangat berbeda sebagaimana diperlihatkan pada gambar 5.



(a)



(b)

Gambar 5. Sampel minyak silikon ditembak dengan menggunakan laser (TEA) CO₂ 50 mJ, 100 ns, a) tanpa subtarget, b) dengan subtarget plat tembaga²⁾

Perbedaan intensitas unsur dalam gambar 5 disebabkan oleh perbedaan intensitas plasma yang dihasilkan dari sampel minyak silikon yang ditembak dengan menggunakan laser pulsa CO₂. Semakin besar intensitas plasma, maka akan semakin besar intensitas unsur yang

dihasilkan dari penembakan. Perbedaan intensitas plasma dipengaruhi oleh banyaknya atom yang terevaporasi dengan diikuti eksitasi dan ionisasi atom yang terkandung dalam sampel. Banyaknya atom yang terevaporasi salah satunya dipengaruhi oleh tingkat kekerasan sampel. Pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa intensitas kandungan unsur dalam sampel minyak silikon tanpa perlakuan subtarget plat tembaga mempunyai nilai intensitas yang rendah. Hasil tersebut berbeda jauh dengan sampel yang dilengkapi dengan subtarget. Pada sampel tanpa perlakuan subtarget irradiasi laser yang mengenai sampel secara keseluruhan akan diserap oleh sampel akibat gaya repulsif pada permukaan sampel yang rendah. Sedangkan pada sampel yang diberi subtarget di belakang sampel, momentum atom yang dihasilkan cukup tinggi sehingga kecepatan atom yang keluar dari sampel target cukup besar untuk membentuk gelombang kejut disertai dengan kenaikan temperatur. Dari penjelasan tersebut menunjukkan tingkat kekerasan sampel target sebanding dengan besarnya rasio ion kalsium C (II) dengan atom kalsium C (I).

Perbedaan intensitas unsur H, C, Na, Mg, dan Ca pada sampel target yang berbeda dipengaruhi oleh konsentrasi unsur dalam sampel target. Sebagaimana diketahui setiap unsur mempunyai tingkat energi yang berbeda-beda. Selain itu, dalam unsur yang sama juga mempunyai level energi yang berbeda antara unsur netral dan unsur yang terionisasi. Perbedaan unsur dipengaruhi oleh banyaknya atom yang menempati setiap tingkat energi. Semakin banyak atom yang ditemukan dalam setiap level energi, maka akan semakin besar intensitas yang dihasilkan.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa sampel tasbih asli terbuat dari karang putih segar (*fresh white cora*) dapat dibedakan

dengan imitasinya terbuat dari kayu keras (*hardwood*) dengan cara menghitung rasio rasio Ca (II) 396,8 nm dan Ca (I) 422,6 nm pada setiap sampel menggunakan metode pembangkitan plasma gelombang kejut oleh laser Nd YAG 1064 nm. Dari penelitian analisis kandungan unsur pada sampel tasbih asli terbuat dari karang putih segar dan sampel tasbih imitasi terbuat dari kayu keras diperoleh hasil sampel tasbih asli terbuat dari karang putih segar dapat dibedakan dengan imitasinya terbuat dari kayu keras. Perbedaan tersebut diperoleh dengan menghitung rasio intensitas ion kalsium Ca (II) 396,8 nm dan Ca 422,6 nm pada sampel karang putih segar dan kayu keras masing-masing sebesar 1,68 dan 0,80.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Dr Hendrik Kurniawan yang telah memberikan bantuan dalam penggunaan laboratorium di *Maju Makmur Mandiri Research Centre*, dan juga terima kasih atas dorongan dan motivasinya sehingga terelesaikannya paper ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Lie, T.J., Kurniawan, K.H., Davy P.K., M. Pardede, M.M. Suliyanti, A. Khumaeni, S.A. Natiq, S.N. Abdulmajid, Y.I. Lee, K.Kagawa, N. Idris, M.O.Tjia. 2005. *Elemental Analysis of Bead Samples Using A Laser Induced Plasma at Low Pressure*. Spectrochemical Acta.
- [2]. Suliyanti, M.M., S. Sardy, A. Kusworo, R. Hedwig, S.N. Abdulmadjid, K.H. Kurniawan, T.J. Lie, M. Pardede, K. Kagawa, M.O. Tjia. 2005. *Plasma Emission Induced by an Nd-YAG Laser at Low Pressure on Solid Organic Sample, its Mechanism, and Analytica Application*. American Institute of Physics. Vol 97. No 5. Hal 053305 1-9
- [3]. Setia Budi, W. 1999. *Confined Plasma Induced by Nd-YAG Laser at Low Pressure* (Dissertasi). Jakarta: Program Studi

- Optoelektronika. Universitas Indonesia.
- [4]. Kurniawan, K.H. 1992. *The Generation of Shock Wave Plasma Induced by TEA CO₂ Laser and its Application for Spectrochemical Analysis*. (Dissertasi). Jakarta : Program Studi Optoelektronika. Universitas Indonesia.
- [5]. Hedwig, R. 2003. *Study of Shock Wave Plasma Confinement and Bending Effect for The Application of Laser Induced Shock Wave Plasma Spectroscopy*. (Dissertasi). Jakarta: Program Studi Optoelektronika. Universitas Indonesia.
- [6]. Kurniawan, K.H., T.J. Lie, N. Idris, M.O.Tjia. dan K. Kagawa. 2001. *Detection of the Density Jump in the Laser-Induced Shock Wave Plasma Using Low Energy Nd-YAG Laser at Low Pressure of Air*. Japan Spectroscopy. Vol 50. Hal 13-18
- [7]. Pardede, M., K.H. Kurniawan, M.O. Tjia, K. Ikezawa, T. Maruyama, K. Kagawa. 2001. *Spectrochemical Analysis of Metal Elements Electrodeposited From Water Samples by Laser Induced Shockwave Plasma Spectroscopy*. American Institute of Physics. Vol 55. No 9. Hal 1229-1236.
- [8]. Corsi, M., Cristoforetti, M. Hidalgo, D. Iriarte, S. Legnaioli, V. Palleschi, A. Salvetti, dan E. Tognoni. 2002. *Temporal and Spatial Evolution of a Laser Induced Plasma from a Steel Target*. Applied Spectroscopy. Vol 57. No. 6. Hal 715-721.
- [9]. Oki, H., H. Suyanto, K.H. Kurniawan, T.J. Lie, Y.I. Lie, F. Sakan, N. Idris, K. Kagawa. 2004. *Water Analysis by Laser Induced Shock Wave Plasma Spectroscopy Using Re-crystallized KBr Powder Confined in a Cylindrical Tube*. Japan Journal of Applied Physics. Vol 43. No. 3. Hal 1036-1037
- [10]. Kurniawan, 2004. *Hydrogen Emission by Nd-YAG Laser Induced Shock Wave Plasma and Its Application to the Quantitative Analysis of Zircalloy*. Applied Physics. Hal 1301-1309
- [11]. Hedwig, R., K.H. Kurniawan, K. Kagawa. 2001. *Confinement Effect of Primary Plasma on Glass Sample Induced by Irradiation of Nd YAG Laser at Low Pressure*. Japan Journal of Applied Physics. Vol 40. No. 10. hal 5938-5941
- [12]. Suyanto, H. K.H. Kurniawan, T.J. Lie, M.O.Tjia, dan K. Kagawa.. 2002. *Application of Laser Plasma Confinement and Bending Effect for Direct Analysis of Powder Samples*. Spectrochimica Acta Part B. Vol 8. Hal 994-999
- [13]. Susilowati, E., T.J. Lie, K.H. Kurniawan. 2004. *Experimental Study on The Sensitive Emission Lines Intensities of Metal Sample Using Laser Ablation Technique and its Comparison to Arc Discharge Technique*. Proc. ITB Eng. Science. Vol 36 B. Hal 1-19
- [14]. Idris, N., K.H. Kurniawan, T.J. Lie, M. Pardede, H. Suyanto, R. Hedwig, T. Kobayashi, K. Kagawa, dan T. Maruyama. 2004. *Characteristic of Hydrogen Emission in Laser Plasma Induced by Focusing Fundamental Q-sw YAG Laser on Solid Samples*. Applied Physics. Vol 43. No. 7A. Hal 4221-4228.
- [15]. Phelps, 1991, F. M. M.I.T. *Wavelength Tables Volume 2, Wavelengths by Element III*. The Massachusetts Institute of Technology: USA
- [16]. Kagawa, K. K. Tsuyuki, S. Miura, N. Idris, K.H. Kurniawan, T.J. Lie. 2005. *Measurements of Concrete Strengths Using The Emission Intensity Ratio Ca (II) 396, 8 nm and Ca (I) 422,6 nm in a Nd YAG Laser*

