

Karakterisasi Sifat Fisika dari Enamel Gigi Manusia Akibat Paparan Laser Nd:YAG Berbasis Sistem Laser Speckle Imaging

(Characterization of Physical Properties from Human Enamel Induced by Nd:YAG Pulsed Laser Based on Laser Speckle Imaging System)

Retna Apsari*, Noriah Bidin**, Suhariningsih*, Sri Hartati***, Anita Yulianti****

ABSTRACT

This research was aimed to examine the physical characteristics of human enamel induced by Nd:YAG laser interaction using the analysis of imaging and FESEM. FESEM machine was used to analyze the metallurgical effect on the damaged and effected surface of the sample. Focusing on the Q-switched and without Nd:YAG pulsed laser, an elliptical lens of 28 mm focal length is used. A Pulnix CCD video camera was connected to Matrox Meteor II standard board. Human enamel and plasma image were recorded by CCD video camera, and the data obtained was analyzed by Matrox Inspector software. The distance between laser and human enamel is 50 cm. Human enamel was formed flat with a diameter around 6 mm. The variation of internal pumping are 540, 560, 580, 600, 620, 640, 660, 680, 700, 720, 740, 760 Volt, and the frequency variation are 1, 5, 10 and 25 Hz. The imaging analysis based on the laser speckle imaging revealed that with energy pumping of 540 V, no laser output produced indicated that there was no laser interaction Nd:YAG in human enamel. Internal energy pumping without Q-switch (with and non focusing) and non focusing Q-Switch resulted in no plasma production in various frequency and energy since these pumping only produced multiple reflection and sample vibration. Meanwhile, the internal pumping with Q-switch and focusing has disclosed the following physical characteristics: multiple reflection, sample vibration, shock wave, photothermal, and plasma production. At the frequency of 1 Hz plasma production appeared in 620 V (48.3 mJ) of pumping energy; at 5 Hz it appeared in 600 V (34.8 mJ), at 10 Hz it appeared in 580 V (21.6 mJ); and at 25 Hz it appeared in 640 V (62.5 mJ). From the analysis of the imaging and FESEM, it can be concluded that the technique of internal pumping without Q-Switch (with and non focusing) is not damaging for human enamel, and so is non focusing Q-Switch. Focusing phenomenon before the exposure of Nd:YAG pulsed laser on human enamel may cause damage to human enamel. It has proven that the technique of internal pumping without Q-Switch and Q-Switch Nd:YAG pulsed laser non focusing can be used for diagnosis in dentistry area, but not for therapy. Nd:YAG pulsed laser focusing that can produce optical breakdown phenomenon is more appropriate for use in therapy.

Key words: human enamel, physical properties, plasma production, photothermal, shock wave, Nd:YAG pulsed laser, Q-Switch, without Q-Switch, focussing

PENDAHULUAN

Perkembangan dunia kedokteran gigi sangat pesat dewasa ini, terutama dalam bidang ilmu dan teknologi, salah satunya adalah teknologi laser Nd:YAG. Penggunaan laser Nd:YAG secara klinis sebagai piranti terapi alternatif yang cukup potensial diperkenalkan sejak tahun 1980 (Arianto, 2003; Konorov et al., 2004; Steiner, 2006; Ohshiro, 2009) dan terus dikembangkan ke arah teknis diagnosis an terapi medis (Niemz, 2007). Namun begitu informasi yang mendasar ketika radiasi laser Nd:YAG

mengenai jaringan lunak dan jaringan keras gigi, serta fenomena yang menyebabkan rusak dan tidaknya jaringan lunak dan keras gigi, belum banyak dikaji secara mendalam, khususnya peneliti di Indonesia. Untuk itu penelitian ini memberikan informasi sifat fisika yang mendasar ketika radiasi laser Nd:YAG mengenai enamel gigi manusia pada berbagai dosis energi laser, yang berkisar pada energi 21,8–169,2 mJ untuk tegangan *pumping without Q-switch* (WQS) dan daya laser 1,17–13,3 MW untuk tegangan *pumping with Q-switch* (QS).

* Physics Department, Faculty of Science and Technology, Airlangga University, Surabaya - Indonesia

** Physics Department, Faculty of Science, Universiti Teknologi Malaysia, Johor Bahru - Malaysia

*** Physics Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Gadjah Mada University, Yogyakarta - Indonesia

**** Material Department, Faculty of Dentistry, Airlangga University, Surabaya - Indonesia

Upaya untuk merancang piranti diagnosis alternatif yang minim efek samping (*non destructive, non invasive, non ionisasi*) dan memiliki ketelitian tinggi adalah kunci teknologi nano yang perlu terus dikembangkan (Vo-Dinh, 2003; Asundi, 2003; Steiner, 2006). Laser *Speckle Imaging* (LSI) adalah salah satu metode optik penghasil *image* sebagai piranti diagnosis alternatif selain radiografi sinar-X, merupakan salah satu teknologi nano digital yang akan digunakan pada penelitian ini. Penelitian ini akan mengungkap sifat fisika yang terjadi karena paparan laser Nd:YAG pada enamel gigi manusia pada tegangan *pumping* 540, 560, 580, 600, 620, 640, 660, 680, 700, 720, 740, dan 760 V berbasis hasil *image* dari sistem *laser speckle imaging*.

LSI merupakan salah satu metode optik penghasil *image* digital (*optical imaging*) berbasis laser, selain *confocal microscopy* (Hibs et al., 2001; Vo-Dinh, 2003), *fluorescent microscopy* (Bosch, 1987; Vo-Dinh, 2003), *optical coherence tomography* (Vo-Dinh, 2003; Marshall, 2004), *thermal imaging* (Vo-Dinh, 2003), dan holografi digital maupun konvensional (Vest, 1979; Bosch, 1987; Bass, 1995; Apsari, 1998; Dyrseth, 1996; Dirksen et al., 2001; Kuo et al., 2002; Poon dan Banarjee, 2002; Yamaguchi, 2003; Montes, 2004; Yaroslavsky, 2004; Schnars dan Jueptner, 2005; Ardiansyah dan Sekartedjo, 2005).

Sistem LSI adalah salah satu sistem penghasil *image* digital berupa *digital optical imaging*. Ada empat bagian pokok pada sistem LSI, yaitu laser Nd:YAG, sampel enamel gigi, sensor CCD yang terhubung dengan PC menggunakan interface berupa *frame grabber* (Vo-Dinh, 2003; Li Nan et al., 2005), dan sistem pengolah *image* secara digital.

Parameter dasar pada laser Nd:YAG adalah panjang gelombang, jangka waktu pemodulasian (*pulse duration*), waktu penyinaran (*exposure time*), ukuran titik fokus (*focal spot size*), kerapatan energi (*energy density*) yang dikenal dengan dosis energi, intensitas yang merupakan perbandingan kerapatan energi dan jangka waktu pemodulasian, sistem pemandu (*delivery system*), dan penggunaan sinar laser *continues/CW* atau *pulsa* (Brodie, 2003; Neimz, 2007). Proses *Q-switch* terjadi pada resonator laser dari modulasi efek elektrooptik pada sel *pockel*, bertujuan untuk menghasilkan sinar laser berupa pulsa pendek dengan daya tinggi.

Ketika laser Nd:YAG dalam sistem LSI berinteraksi dengan enamel gigi ada berbagai mekanisme interaksi yang terjadi yaitu: interaksi fotokimia (*photochemical*), interaksi

fototermal (*photothermal*), fotoablasi (*photoablation*), interaksi produksi plasma (*plasma-induced ablation*), dan fotoakustik (*photodisruption*). Mekanisme fotokimia dan fotoablasi tidak menjadi kajian dalam penelitian ini. Ketika sinar laser *Q-switch* difokuskan oleh lensa, kerusakan (*breakdown*) pada daerah fokus dapat diamati. Fenomena fisik yang di sebut *optical breakdown* ditandai dengan munculnya fenomena *photodisruption*/fotoakustik berupa produksi *shock wave*, dan produksi plasma (*plasma-induced ablation*) (Neimz, 2007).

Efek fototermal berlangsung ketika sinar laser Nd:YAG diabsorpsi oleh enamel gigi, dan diubah menjadi panas sehingga suhu jaringan meningkat. Bila energi yang digunakan cukup banyak, air pada jaringan akan menguap dan menyebabkan ablasi jaringan. Efek berbeda yang terjadi karena efek termal adalah koagulasi (*coagulation*), vaporasi (*vaporization*), karbonasi (*carbonization*), dan lelehan (*melting*) (Ready, 1971; Neimz, 2007).

Digital Optical Imaging yang dibangun pada penelitian ini merupakan sistem penghasil *image* alternatif, selain radiografi sinar-X. Radiografi baik digital maupun konvensional, merupakan alat bantu penunjang diagnosis yang sangat penting bagi dokter gigi, dan berfungsi sebagai mata kedua, walaupun ada efek samping yang ditimbulkan seperti diketahui dapat memberikan risiko *stroke* (Wysong, 1997), terjadinya peningkatan yang cukup bermakna pada persentase rerata kerusakan morfologi inti sel seiring dengan meningkatnya dosis radiasi yang diberikan sebagai dosis tunggal (Pratama, 1994). Bagian tertentu dari anatomi gigi yang memerlukan perawatan gigi tidak dapat dilihat dengan kasat mata, oleh karena itu radiografi merupakan suatu kebutuhan yang tak terhindarkan lagi. Radiografi masih diragukan keandalannya dari sudut pandang keamanan pemakaian radiasi sinar-X dan waktu yang diperlukan untuk membuat dan memproses radiografi individual (Walton dan Torabinejad, 1998). Hal ini disebabkan karena dental radiografi masih diproses secara konvensional. Keseluruhan sistem yang dibangun pada penelitian ini merupakan salah satu sistem *digital optical imaging* untuk diagnosis penunjang yang tidak menggunakan sumber ionisasi. Melalui kemampuan analisis secara digital, maka kualitas enamel gigi dapat terdeteksi, sehingga menambah nilai lebih dari keseluruhan sistem yang dibangun.

Berdasarkan uraian yang telah disebutkan di atas, dan pengembangan lanjutan di masa depan, diharapkan sistem ini dapat menunjang bidang kedokteran gigi khususnya sebagai kandidat alat bantu diagnosis (*tool aid*) pada

jaringan keras gigi selain radiografi sinar-X yang dapat digunakan oleh dokter gigi dalam melakukan terapi berbasis laser Nd:YAG. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efek dari sinar laser terhadap karakter fisik enamel gigi.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini meliputi 3 tahapan.

Bahan yang digunakan untuk pemotongan sampel enamel gigi adalah: gigi premolar pertama rahang atas anak umur 15–19 tahun, yang akan dilakukan perawatan orto, dan tidak ada karies; larutan aquabides; larutan aqua bidestilata steril produksi Lab. Kimia Analitik F. Sains dan Teknologi Unair; kertas abrasif dari yang kasar hingga halus no. 2000; bor diamond (Edenta). Alat yang digunakan untuk preparasi sampel adalah: mesin *trimmer* untuk memotong gigi; *ultrasound cleaner* merk Branson 3520; cawan patri untuk tempat sampel.

Tempat penelitian meliputi: klinik Bedah Mulut dan Maksilofaksial Rumah Sakit Gigi dan Mulut FKG Universitas Airlangga; Bengkel Mekanik dan Gelas, Fakultas Sains dan Teknologi Unair; Lab. Kimia Analitik Departemen Kimia Fakultas Science UTM; Lab. Fisika Optika dan Laser Fakultas Sains dan Teknologi Unair.

Gigi untuk sampel enamel dikumpulkan dari Klinik Bedah Mulut dan Maksilofaksial Rumah Sakit Gigi dan Mulut FKG Universitas Airlangga. Sebelum dilakukan pengumpulan sampel gigi, terlebih dahulu diajukan uji untuk mendapat keterangan kelaikan etik (*Ethical Clearance*).

Spesimen enamel diperoleh dari gigi premolar pertama rahang atas umur 15–19 tahun, yang akan dilakukan perawatan orto, dan tidak terdapat karies. Setelah pencabutan, spesimen gigi yang telah dicuci dengan aquabides dan dibersihkan, disimpan dalam larutan aqua bidestilata steril dan disimpan dalam lemari pendingin bersuhu 4°–6° C untuk mencegah kerusakan sampai dengan pemakaiannya pada suhu kamar. Penyimpanan dilakukan di Lab. Fisika Optika dan Laser Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga.

Pembuatan lempeng enamel dilakukan dengan memotong permukaan oklusal gigi menggunakan mesin *trimmer* di bawah aliran air. Proses ini dilakukan di Bengkel Mekanik dan Gelas, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga. Selanjutnya enamel dipotong dengan

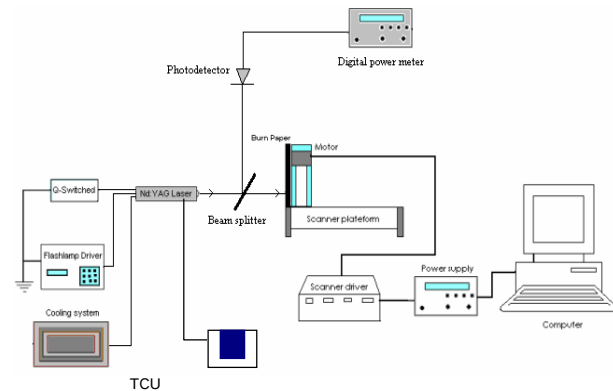
ketebalan 1,5–2 mm dan diameter 0,5–1 cm tegak lurus aksis gigi. Permukaan enamel selanjutnya dipoles dengan menggunakan kertas abrasif dari yang kasar hingga halus no. 2000. Setelah permukaan halus, sampel dicuci dengan *ultrasound cleaner* (Branson 3520). Setelah dilakukan pencucian tersebut, sampel direndam dalam larutan aqua bidestilata steril pada lemari pendingin suhu 4°–6° C sampai dilakukan pengambilan *image* pada suhu kamar.

Tahapan penelitian ini meliputi: karakterisasi energi, panjang gelombang, dan pola *output* laser Nd:YAG, serta lebar pulsa laser Nd:YAG (*pulse duration*) dengan variasi tegangan *pumping* laser Nd:YAG WQS dan QS adalah 540, 560, 580, 600, 620, 640, 660, 680, 700, 720, 740, 760 V. *Set up* peralatan sistem LSI untuk karakterisasi energi, panjang gelombang, dan pola *output*, serta lebar pulsa laser Nd:YAG disajikan pada Gambar 1. Karakterisasi dilakukan sebelum ada sampel enamel gigi, dengan tegangan *pumping* laser Nd:YAG WQS dan QS.

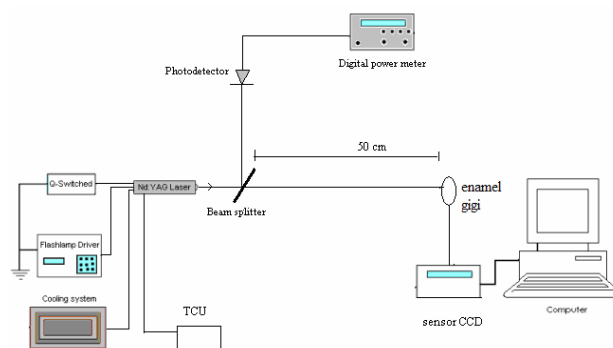
Alat yang digunakan untuk menghasilkan *image* dengan sistem LSI, meliputi: laser Nd:YAG dengan spesifikasi tipe HY200 Lumonics dengan output panjang gelombang 1064 nm, lebar pulsa 10 ns dan *transverse mode* TEM₀₀; sensor video *high speed photography* merk PULNIX TM–6EX CCD terhubung ke komputer dan dioperasikan dengan *frame grabber Matrox Meteor II Standard card* dengan software pendukung *Matrox Imaging Software*; laser He-Ne dengan panjang gelombang 0,6328, untuk penyesuaian (*alignment*) saat pengesetan sistem LSI; lensa divergen dengan panjang fokus 28 mm; lensa pemfokus untuk sensor CCD ($f = 200 \text{ mm}$); filter cahaya berupa plat kaca berwarna; *digital power meter* merk Meller Griot tipe 13 PEM 001; *eksternal trigger unit*; *trigger Control unit* (TCU); *photodetector* merk Hewlett Packard yang spesifik pada panjang gelombang 350 sampai 1100 nm; *oscilloscope* merk Tektronix TDS3020B dengan lebar pita 500 MHz; 2 buah komputer (untuk pengambilan *image* dan analisis *image*). Spesifikasi teknis: Intel Pentium MMX 166 MHz, memori 32 MB RAM (untuk pengambilan *image*) dan Intel Pentium 2,23 GHz, memori 504 MB RAM (untuk analisis *image*); *wave star*; *spectrometer* merk Ophir untuk mengkarakterisasi *output* panjang gelombang laser Nd:YAG; mikroskop optik model REICHERT POLYVAR 2 MET yang terintegrasi dengan komputer untuk menangkap (*capture*) dan menganalisis spesimen.

Tahapan penelitian pada *Gambar 1, 2, dan 3*, dilakukan di Lab. Teknologi Laser Fakultas Sains UTM Malaysia. Adapun set up penelitian untuk pemaparan laser Nd:YAG QS dengan sistem pemfokusan disajikan pada *Gambar 2 dan 3* sekaligus digunakan untuk pengamatan produksi plasma dan *shock wave*.

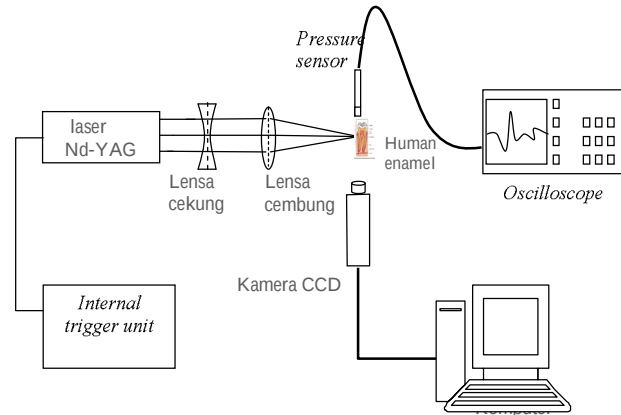
Set up sistem LSI untuk menghasilkan *image* disajikan pada *Gambar 2*, dengan cara menggantikan *scanner* dengan sampel enamel gigi yang akan dipapari laser Nd:YAG dan menggantikan *digital power meter* dengan sensor CCD *high speed photography* merk PULNIX TM-6EX CCD dilengkapi dengan *frame grabber* yang terhubung dengan PC. Set up peralatan diletakkan di atas meja tahan getas merk *Melles Griot*.



Gambar 1. Set up sistem LSI untuk karakterisasi laser Nd:YAG.



Gambar 2. Set up sistem LSI untuk pengambilan *image* dengan tegangan *pumping* WQS dan QS tanpa pemfokusan.



Gambar 3. Set up sistem LSI untuk pengambilan *image* dengan tegangan *pumping* WQS dan QS dengan pemfokusan.

Tahap penelitian analisis mikrostruktur enamel gigi

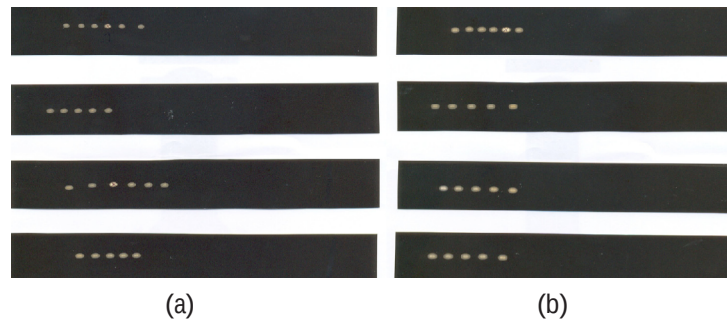
Tahapan penelitian ini meliputi analisis perubahan morfologi permukaan enamel dengan alat FESEM-EDAX dilakukan di Laboratorium Sains dan Bahan Fakultas Kejuruteraan Mekanik (*Faculty of Mechanical Engineering*) Universiti Teknologi Malaysia (UTM).

Analisis perubahan morfologi permukaan enamel dilakukan di Laboratorium Science dan Bahan, Fakultas Kejuruteraan Mekanik, Universiti Teknologi Malaysia (UTM). Merk alat yang digunakan adalah: ZEISS tipe 35 VP buatan tahun 2005. Alat ini terhubung dengan vakum dan mesin produksi sinar-X, buatan OXFORD Instrument ISO 9001 (England).

HASIL DAN DISKUSI

Hasil karakterisasi *output* energi laser Nd:YAG disajikan pada *Tabel 1 dan 2*. Pola *output* pada *burn paper* disajikan pada *Gambar 4 dan 5* yang menunjukkan pola *output* paparan laser Nd:YAG dengan WQS dan QS. Dari *Gambar 4 dan 5* menunjukkan bahwa laser Nd:YAG yang digunakan memiliki mode TEM_{00} . *Gambar 7* menunjukkan hasil karakterisasi *output* panjang gelombang laser Nd:YAG yang digunakan pada penelitian memiliki panjang gelombang 1063.83 nm. Hasil karakterisasi pola *output* laser Nd:YAG dengan *burn paper* disajikan pada *Gambar 4 dan 5*. Adapun hasil pengamatan visual efek penyinaran laser pada enamel gigi disajikan pada *Gambar 6*, di mana area hitam (ditandai panah merah) menunjukkan efek paparan laser Nd:YAG pada enamel gigi, yang diamati dengan mikroskop optik model REICHERT POLYVAR 2 MET. Visualisasi tersebut menunjukkan bahwa efek

perubahan morfologi permukaan enamel tidak mampu dideteksi dengan alat tersebut.



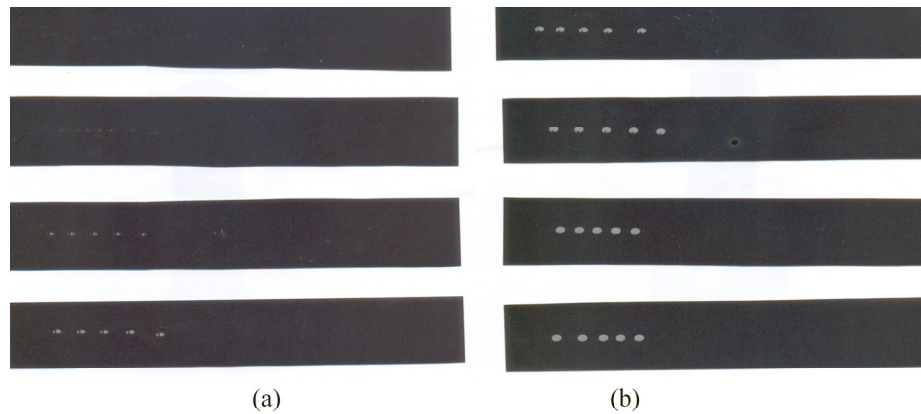
Gambar 4. Karakterisasi pola keluaran laser Nd:YAG WQS pada *burn paper* untuk tegangan *pumping* (a) 600, 620, 640, 660 V (b) 680, 700, 720, 740 V.

Tabel 1. Karakterisasi energi *output* laser Nd:YAG dengan Q-Switch

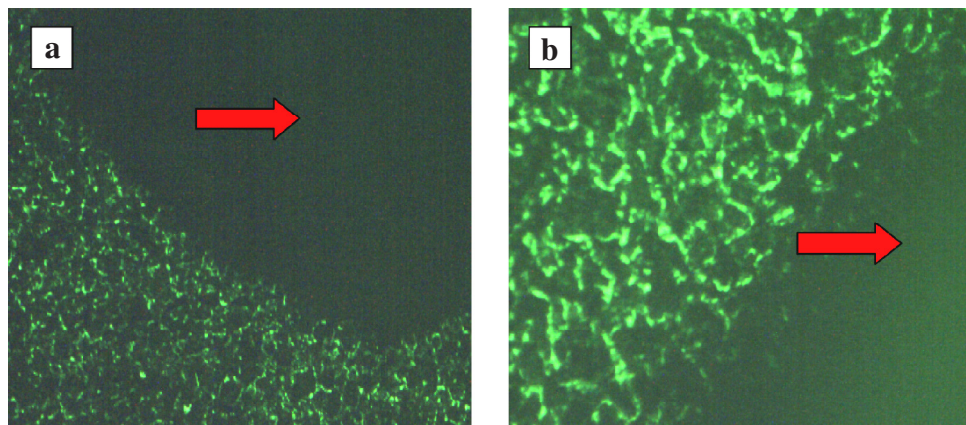
Tegangan <i>pumping</i> (V)	Output Energi (mJ)					Rata-rata Output Energi (mJ)
	Ulangan pengukuran ke-					
	1	2	3	4	5	
540	0	0	0	0	0	0
560	13,2	10,3	12,6	11,5	10,9	(11,7 ± 1,2)
580	21,6	21,4	22,9	21,8	20,5	(21,6 ± 0,9)
600	35,7	35,1	35,3	35,8	35,6	(35,5 ± 0,3)
620	48,7	48,8	48,9	48,1	48,3	(48,6 ± 0,3)
640	64,2	63,4	63,2	64,8	63,6	(63,8 ± 0,7)
660	76,6	76,1	76,8	76,5	76,2	(76,4 ± 0,3)
680	88,2	90,7	89,5	89,1	89,3	(89,4 ± 0,9)
700	101,4	102,7	102,9	101,8	102,6	(102,3 ± 0,7)
720	113,6	113,1	112,8	111,1	112,4	(112,6 ± 0,9)
740	124,5	123,5	124,2	123,8	124,2	(124,04 ± 0,4)
760	133,9	133,2	132,7	133,5	133,4	(133,3 ± 0,4)

Tabel 2. Karakterisasi energi *output* laser Nd:YAG tanpa Q-Switch

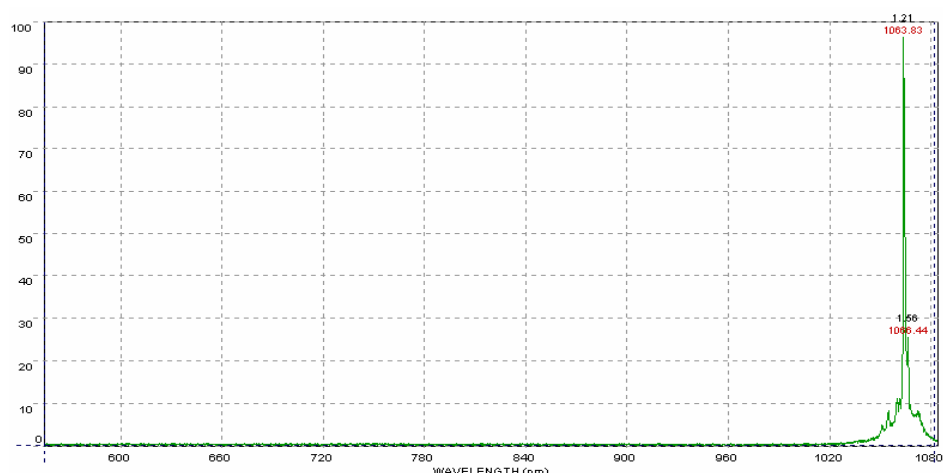
Tegangan <i>pumping</i> (V)	Output Energi (mJ) Ulangan pengukuran ke-					Rata-rata Output Energi (mJ)
	1	2	3	4	5	
540	0	0	0	0	0	0
560	22,1	21,8	22,2	21,6	21,4	(21,8± 0,3)
580	25,4	25,8	25,2	26,1	25,5	(25,6± 0,4)
600	35,5	36,9	36,2	38,5	37,3	(36,9 ± 1,0)
620	52,1	50,7	51,0	51,3	52,3	(51,5 ± 0,6)
640	64,4	64,5	62,4	63,5	62,8	(63,5 ± 0,8)
660	74,7	76,7	76,5	76,7	75,6	(76,0 ± 0,8)
680	89,2	92,8	89,6	90,1	88,7	(90,1 ± 1,6)
700	105,0	102,0	103,0	103,0	106,0	(103,8 ± 1,5)
720	126,7	127,1	129,1	128,2	127,4	(127,7 ± 0,9)
740	142,3	144,6	143,4	142,8	144,1	(143,4 ± 0,9)
760	168,3	169,2	168,5	169,4	170,5	(169,2±0,9)



Gambar 5. Karakterisasi pola keluaran laser Nd:YAG QS pada *burn paper* untuk tegangan *pumping* (a) 600, 620, 640, 660 V (b) 680, 700, 720, 740 V.



Gambar 6. Efek penyinaran laser Nd:YAG terhadap enamel gigi manusia. Diamati menggunakan mikroskop digital merk Reichert Polyvar 2 dengan perbesaran a) 5× b) 10× (tanda panah menunjukkan efek paparan laser Nd:YAG Q-Switch pada enamel gigi).



Gambar 7. Output panjang gelombang laser Nd:YAG.

Hasil Penelitian Output Sistem LSI dan Pengamatan Nilai Frekuensi Image

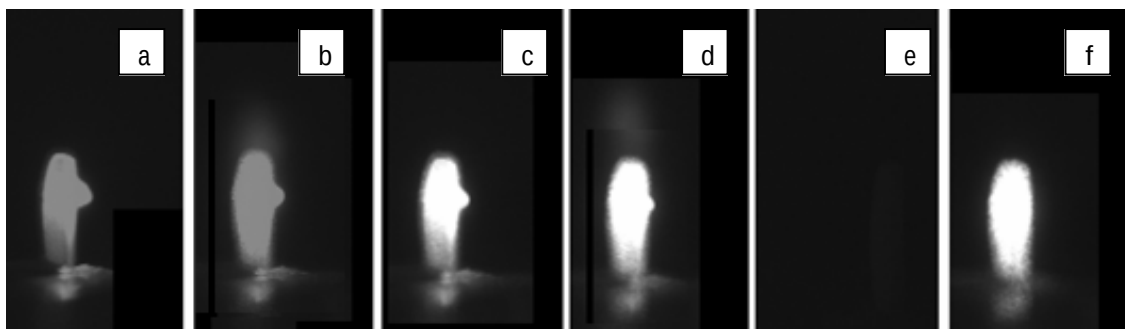
Citra yang digunakan pada penelitian ini dihasilkan dari proses sistem LSI dengan mengubah file avi menjadi file citra (TIFF) menggunakan *software* pendukung yaitu Matrox Inspektor 4.1 di mana dihasilkan 100 citra untuk setiap tegangan *pumping*. Dari 100 citra tersebut dikelompokkan menjadi 6 kelompok berdasarkan pola citra yaitu citra produksi plasma, pantulan berulang, distorsi sampel, distorsi dan pantulan, tidak terkena laser, dan tidak terdapat plasma. Hasil pengelompokan citra disajikan pada Tabel 3. Adapun pola *image* yang muncul ketika terjadi interaksi laser Nd:YAG terhadap enamel gigi disajikan pada Gambar 8.

Untuk mengetahui perubahan frekuensi tingkat keabuan pada citra enamel gigi yang diperiksa setelah paparan laser Nd:YAG QS dilakukan pengamatan citra berbasis histogram menggunakan *software* Matrox Inspektor 2.1, di mana frekuensi kemunculan tingkat keabuan maksimum

mengalami kenaikan dengan bertambahnya energi *pumping* yang diberikan. Bertambahnya frekuensi kemunculan tingkat keabuan maksimum tersebut dapat dilihat dari nilai rerata yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai rerata frekuensi kemunculan tingkat keabuan maksimum terhadap pemberian tegangan *pumping*

Tegangan <i>pumping</i> (V)	Frekuensi kemunculan tingkat keabuan maksimum
580	1465
600	1537
620	1880
640	2025.7
660	2240.5
700	2760.1
720	2784.5
740	2688.8
760	2706.9

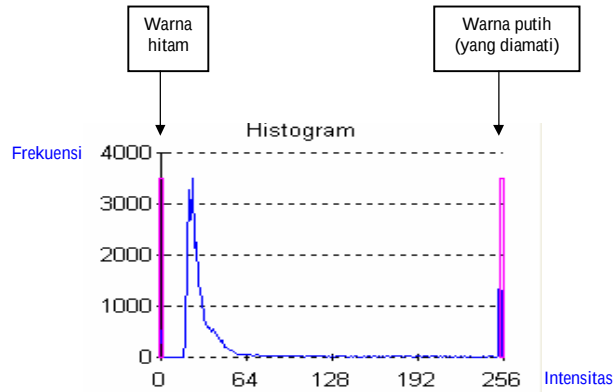


Gambar 8. Pola yang muncul dari citra hasil sistem LSI: (a) Distorsi sampel (b) Distorsi dan pantulan (c) Produksi plasma (d) Pantulan berulang (e) Tidak terkena laser (f) Citra enamel tidak terdapat plasma.

Tabel 3. Pengelompokan citra secara visual pada pemberian tegangan *pumping* 580–760 V pada citra yang terdapat plasma dan tidak terdapat plasma

Tegangan <i>pumping</i> (V)	Produksi plasma (citra)	Pantulan Berulang (citra)	Distorsi sampel (citra)	Distorsi dan pantulan (citra)	Tidak terkena laser (citra)
580	14 citra	11 citra	32 citra	11 citra	32 citra
600	13 citra	10 citra	25 citra	12 citra	40 citra
620	8 citra	10 citra	35 citra	4 citra	43 citra
640	16 citra	12 citra	40 citra	8 citra	24 citra
660	13 citra	14 citra	36 citra	6 citra	31 citra
700	11 citra	14 citra	31 citra	7 citra	37 citra
720	10 citra	7 citra	29 citra	7 citra	47 citra
740	15 citra	13 citra	44 citra	6 citra	22 citra
760	10 citra	6 citra	32 citra	4 citra	48 citra

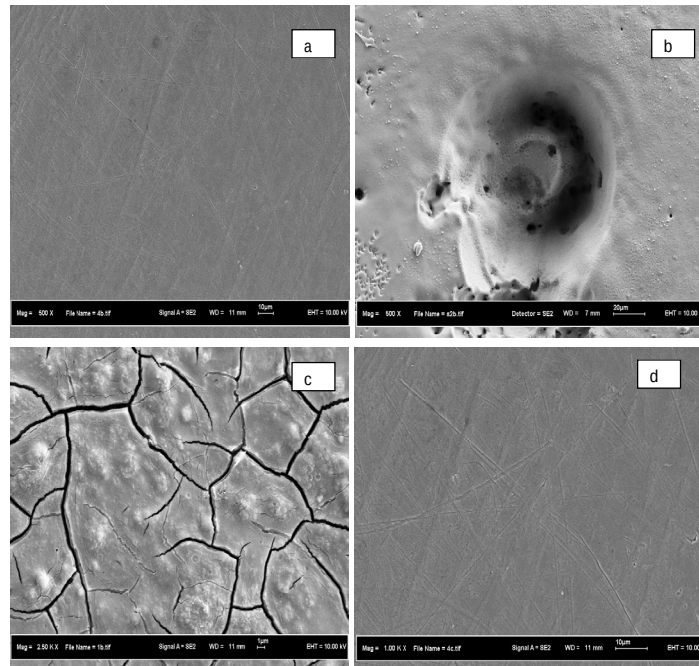
Perubahan frekuensi tingkat keabuan pada citra enamel gigi yang diperiksa setelah terkena laser Nd:YAG Q-Switch pada tegangan *pumping* 580 V dapat dilihat dari bentuk histogram yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Bentuk histogram dari citra enamel gigi setelah terpapar laser Nd:YAG Q-Switch dengan pemberian tegangan *pumping* 580 V (warna putih menunjukkan intensitas paparan laser Nd:YAG).

Hasil uji morfologi enamel gigi dengan FESEM-EDAX sebelum dan setelah terpapar laser Nd:YAG disajikan pada Gambar 10. Gambar tersebut melukiskan tentang mikrofotografi dari enamel normal sebelum paparan laser Nd:YAG (a), enamel setelah terpapar laser Nd:YAG Q-switch (QS) dengan pemfokusan pada tegangan *pumping* 700 V dan *repetition rate* 10 Hz (b), enamel setelah terpapar laser Nd:YAG tanpa Q-switch (WQS) dengan pemfokusan pada tegangan *pumping* 760 V dan *repetition rate* 20 Hz (c), serta enamel setelah terpapar laser Nd:YAG tanpa Q-switch (WQS) pada tegangan *pumping* 760 V dan *repetition rate* 20 Hz (d).

Sistem LSI adalah salah satu sistem penghasil *image* dengan *set up* sistem yang sederhana (Vo-Dinh, 2003), jika dibandingkan dengan sistem yang didasarkan pada modulasi fase seperti holografi, OCT, maupun interferometer. Untuk membangun sistem LSI dibutuhkan sensor berkecepatan tinggi yaitu sensor CCD yang terhubung dengan komputer yang didalamnya terintegrasi dengan *frame grabber card*. Sensor tersebut bekerja pada spektrum infra merah, dan mampu menangkap *image* enamel gigi dari intensitas



Gambar 10. Gambar morfologi enamel gigi dari hasil FESEM-EDAX. a. Enamel sebelum terpapar laser Nd:YAG (tidak ada efek); b. Enamel setelah terpapar laser Nd:YAG Q-switch (QS) dengan pemfokusan pada tegangan *pumping* 700 V dan *repetition rate* 10 Hz (efek: lubang); c. Enamel setelah terpapar laser Nd:YAG tanpa Q-switch (WQS) dengan pemfokusan pada tegangan *pumping* 760 V dan *repetition rate* 20 Hz (efek: retak); d. Enamel setelah terpapar laser Nd:YAG tanpa Q-switch (WQS) pada tegangan *pumping* 760 V dan *repetition rate* 20 Hz (tidak ada).

laser Nd:YAG yang didifraksikan sampel. *Image* enamel gigi mampu dideteksi oleh sensor CCD dengan output intensitas berupa *grey level*, mulai tegangan *pumping* 580 V. Hal ini sesuai dengan karakterisasi *output* energi laser Nd:YAG pada *Tabel 1* dan *2*. Untuk tegangan *pumping* 540 V belum ada energi yang di deteksi fotodetektor, di mana *output* energi laser pada tegangan *pumping* tersebut adalah 0, yang ditandai dengan munculnya warna hitam saja pada monitor komputer. Hal ini juga terdeteksi pada pengelompokan *image* secara visual dan pengamatan nilai frekuensi intensitas (*Tabel 3*). Paparan laser Nd:YAG ditandai dengan munculnya penambahan intensitas warna putih yang ditangkap (*capture*) sensor CCD dan ditampilkan (*display*) pada monitor komputer. Berdasarkan pengamatan histogram diketahui bahwa nilai frekuensi intensitas yang muncul akibat paparan laser Nd:YAG adalah 254.

Berdasarkan bentuk histogram pada *Gambar 9*, tingkat keabuan maksimum yang menunjukkan warna putih meningkat (pada nilai frekuensi 254) dan tingkat keabuan minimum yang menunjukkan warna hitam cenderung menurun. Hal ini disebabkan adanya pantulan dan pembiasan pada enamel gigi akibat interaksi paparan laser Nd:YAG WQS dan QS pada berbagai tegangan *pumping*. Tampilan paparan laser Nd:YAG pada berbagai tegangan *pumping* yang ditangkap sensor CCD berbasis histogram menunjukkan karakteristik spesifik yaitu tingginya nilai frekuensi intensitas 254 pada tampilan histogram.

Dari 100 citra hasil sistem LSI pada tegangan *pumping* 580–760 V setelah dikelompokkan berdasarkan pola citranya menjadi enam kelompok, maka diambil satu kelompok citra yaitu kelompok citra produksi plasma. Untuk mendeteksi kualitas enamel gigi dari citra hasil sistem LSI pada pemberian tegangan *pumping* 580 sampai dengan 760 V, terlebih dahulu dilakukan pengamatan citra dengan menggunakan *software* Matrox Inspektor 2.1. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa semakin tinggi pemberian tegangan *pumping* yang diberikan semakin tinggi frekuensi kemunculan tingkat keabuan maksimum yang berarti bertambahnya warna putih pada citra yang diperiksa. Tingginya frekuensi intensitas disebabkan bertambahnya ukuran plasma pada enamel yang diperiksa akibat pemberian tegangan *pumping* dari resonator laser Nd:YAG.

Setelah spesimen enamel yang telah diiradiasi dengan laser Nd:YAG dilapisi dengan emas (JFC-1200 *Fine Coater*, JEOL) selama 1–3 menit, pengamatan interaksi laser Nd:YAG di bawah FESEM-EDAX dilakukan untuk melihat perubahan morfologi permukaan enamel sebelum dan sesudah radiasi laser. Observasi dengan FESEM-EDAX menunjukkan bahwa setelah paparan laser Nd:

YAG, morfologi permukaan enamel berubah strukturnya membentuk permukaan yang ireguler, adanya semacam retakan, dan kawah/lubang dengan diameter dari yang kecil hingga besar terutama untuk paparan laser WQS dan QS dengan sistem pemfokusan.

Berdasarkan observasi FESEM EDAX pada *Gambar 10* disimpulkan bahwa terjadi kerusakan pada permukaan enamel gigi yang terlihat dengan adanya lubang ketika enamel gigi terpapar Laser Nd:YAG dengan tegangan *pumping* 700 V dan *repetition rate* 10 Hz dengan sistem pemfokusan (*Gambar 10.b*). Permukaan enamel di sekitar kawah terdapat lelehan enamel di sekitar kawah. Paparan laser Nd:YAG WQS dengan pemfokusan untuk tegangan *pumping* 760V dan *repetition rate* 20 Hz (*Gambar 10.c*), hanya mampu menimbulkan efek retak pada enamel gigi dan tidak mampu menimbulkan efek lubang maupun lelehan pada permukaan enamel. Paparan laser Nd:YAG WQS tanpa pemfokusan untuk tegangan *pumping* 760V dan *repetition rate* 20 Hz (*Gambar 10.d*), tidak menimbulkan efek apapun pada permukaan enamel. Penampakan gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa tampilan morfologi enamel gigi yang terpapar laser WQS identik dengan morfologi enamel gigi sebelum terpapar laser.

Hasil penelitian tersebut sesuai dengan penelitian yang dilaporkan **Arianto** (2003), yang menyatakan adanya efek lubang dan retak pada gigi. Namun begitu kedua peneliti tidak menjelaskan apakah paparan laser Nd:YAG menggunakan WQS atau QS, ataukah dengan sistem pemfokusan apa tidak. Penelitian ini mampu melengkapi informasi ilmiah yang sudah dilaporkan oleh kedua peneliti tersebut.

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa sistem pemfokusan laser Nd:YAG QS menimbulkan terjadinya kawah/lubang pada enamel gigi, sedangkan pemfokusan laser Nd-YAG WQS tidak dapat menimbulkan efek kawah/lubang, hanya mampu menimbulkan efek retak. Hal ini disebabkan Q-Switch memberikan daya luaran lebih besar karena lebar pulsa yang lebih pendek daripada tanpa Q-Switch (**Rahman et al.**, 2006).

Berdasarkan observasi morfologi enamel gigi dengan FESEM-EDAX, munculnya lelehan pada enamel gigi dengan paparan laser Nd:YAG QS dengan sistem pemfokusan menunjukkan bahwa terjadi efek termal pada enamel dengan suhu yang diterima enamel >300° C (**Neimz**, 2007). Namun begitu penelitian ini tidak mengukur besarnya termal yang diterima enamel gigi.

Fenomena fisik yang di sebut *optical breakdown* ditandai dengan munculnya fenomena *photodisruption*/ fotoakustik berupa produksi *shockwave*, dan produksi

plasma (*Plasma-induced Ablation*) (Neimz, 2007). Ketika densitas daya laser berkekuatan tinggi diberikan, maka medan listriknya mempunyai potensial tinggi untuk menghasilkan *optical breakdown*. Fenomena tersebut dapat terdeteksi pada penelitian ini, melalui pengamatan pola *image* yang berupa produksi plasma, dan karakterisasi produksi *shock wave* tidak dibahas detail dalam laporan ini. Menurut Neimz (2007), fenomena *optical breakdown* akan terjadi pada zat padat dan cair apabila kekuatan daya melebihi 10^{11} W/cm^2 , dan akan terjadi di udara jika kekuatan dayanya melebihi 10^{14} W/m^2 .

Fenomena produksi plasma disajikan pada *Gambar 8*, yang didasarkan pada hasil pengelompokan dan pengamatan intensitas *image*. Plasma ditandai dengan munculnya *spark* pada enamel gigi, yang terjadi pada titik fokus dan berada pada berkas sorotan laser Nd:YAG (Brodie, 2003). Plasma muncul pada *set up* sistem LSI dengan *Q-Switch* dan pemfokusan. Munculnya plasma ditandai juga dengan munculnya *shock wave*. Produksi plasma pada penelitian ini mulai terjadi pada tegangan *pumping* 580 V, demikian juga untuk produksi *shock wave*. Terdapatnya plasma pada enamel gigi akibat penyinaran laser Nd:YAG dengan *Q-Switch* dengan pemberian tegangan *pumping* mulai dari 580 sampai 760 V. Semakin besar tegangan *pumping* akan menyebabkan tingginya nilai frekuensi *grey level*. Hal ini disebabkan interaksi laser Nd-YAG *Q-Switch* dengan enamel gigi, di mana ukuran plasma cenderung bertambah besar dengan bertambahnya pemberian tegangan *pumping*.

SIMPULAN

Dapat dihasilkan *image* enamel gigi dengan sistem LSI berbasis laser Nd:YAG WQS dan QS dengan variasi tegangan *pumping* 580, 600, 620, 640, 660, 680, 700, 720, 740, 760 V, dan *output* energi 11,7 sampai dengan 169,2 mJ. Dengan hasil penelitian ini maka sistem LSI dapat dijadikan sebagai sistem *digital optical imaging* alternatif yang dapat digunakan di bidang Kedokteran Gigi. Berdasarkan *image* sistem *Laser Speckel imaging*, sifat fisika yang terjadi akibat paparan laser Nd:YAG terhadap enamel gigi adalah: distorsi sampel, produksi plasma, pantulan berulang.

Intensitas *grey level* tidak cukup untuk menjelaskan rusak dan tidaknya gigi, tetapi diperlukan deteksi *fenomena optical breakdown* berupa produksi plasma pada *image* enamel gigi hasil dari sistem LSI, dengan sistem pemfokusan optik dengan panjang fokus 28 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Apsari R, 1998^{a)}. Penentuan Koefisien Difusi Larutan dengan Teknik Interferometri Holografi. Tesis Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Ardiansyah D, Sekartedjo, 2005. Numerical Reconstruction of Digital Holographic Recording. Photonics Laboratory, Engineering Physics Department, ITS Surabaya.
- Arianto, 2003. Studi Karakteristik Mikrostruktur dan Sifat Dentin Manusia terhadap Panas Sebagai Modifikasi Permukaan Dentin. Disertasi Program Studi Ilmu Material, Program Pascasarjana, FMIPA Universitas Indonesia, Jakarta.
- Asundi, 2003. Novel Optical Sensors For Testing and Measurement. School of Mechanical and Production Engineering, Nanyang Technology University. Singapura.
- Bass, M, Stryland, Williams, Wolfe, 1995. Handbook of Optics (Volume 1, Fundamental Techniques, and Design). McGraw-Hill, Inc.
- Brodie, 2003. Welding of Skin using Nd:YAG Laser with Bipolar Contact Applicators. Disertasi University of Southern Quensland.
- Bosch, 1987. General Aspect of Optical Methods in Dentistry. Dental School Groningen, Groningen, Belanda.
- Dirksen, H. Droste, B. Kemper, H. Delere, M. Deiwick, H.H. Scheld and G. Von Bally, 2001. Lensless Fourier Holography for Digital Holographyc Interferometry on Biologycal Samples. J. Optics and Laser Engineering, Vol. 36, Isue 3: 241–249.
- Dyrseth A, 1996. Measurement of Plant Movement in Young and Mature Plants Using Electronic Speckle Pattern Interferometry. Applied Optics 35(19): 3695–3701, USA.
- Konorov, Mitrokhin, Fedotov, Biryukov, Belolazos, Skibina, Wintner, Scalora, Zheltikov, 2004. Hollow-core Photonics-crystal Fibres for Laser Dentistry. Physics in Medicine and Biology. 49: 1359–1368.
- Kuo CJ dan Tsai MH, 2002. Three-Dimensional Holographic Imaging. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Li Nan, Tong S, Ye D, Shun, Thakor, 2005. Cortical Vascular Blood Flow Pattern by Laser Speckle

- Imaging. Biomedical Engineering Department, Johns Hopkins School of Medicine, Baltimore, USA.
- Marshall**, 2004. Handbook of Optical and Laser Scanning. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Hibs, Paulus, Lussi**, 2001. Detection of Occlusal Caries by Fluorescence: Basic and Clinical Investigation. Med. Laser Application 16: 205–213.
- Montes M, S Lopez, Santoyo**, 2004. Detection of Biological Tissue in Gels Using Pulsed Digital Holography. Optics Express, Vol. 12, No. 5, USA.
- Neimz**, 2007. Laser-Tissue Interactions, Fundamental and Applications Third, Springer, Jerman.
- Poon TC, Banerjee PO**, 2002. Contemporary Optical Image Processing With Matlab. Elsevier. Oxford. UK.
- Pratama**, 1994. Pengaruh Radiasi Pencil Dosis Tunggal pada Sel Odontoblas Gigi Insisif Tikus Putih (Penelitian Eksperimental Laboratorik). Tesis Master Program Pascasarjana. Universitas Airlangga Surabaya.
- Oshiro**, 2009. Light and Life: A Personal Overview of Development in the Field of Photosurgery and Phototherapy. Photomedicine and Laser Surgery 27. Mary Ann Liebert, inc: 1–2.
- Rahman T, Noriah Bidin & Yaacob Mat Daud**, 2006. Characterization of a New Developed Nd:YAG Laser. Prosiding National Seminar on Physics di Serdang, Malaysia.
- Schnars & Jueptner**, 2005. Digital Holography. Springer. Jerman
- Steiner**, 2006. New Laser Technology and Future Application. Medical Laser Technology; 21: 131–140.
- Walton dan Torabinejad**, terjemahan: **Sumawinata, Sidharta, Nursasongko**, 1998. Prinsip dan Praktik Ilmu Endodonsi. Penerbit Buku Kedokteran, EGC, Jakarta.
- Wysong, Pippa**, 1997. Dental x-ray Can Give Clues to Stroke Risk. Medical Post. May, Vol. 33, Iss 17: 42, Toronto.
- Vest C**, 1979. Holographic Interferometry. John Willey and Sons, Toronto, Canada.
- Vo Dinh**, 2003. Biomedical Photonics Handbook. CRC Press. New York.
- Yamaguchi Ichiro**, 2003. Holography, Speckle, and Computer, Optics and Laser in Engineering Vol. 39 No. 4: 411–429, USA.
- Yamaguchi Ichiro**, 2003. Holography, Speckle, and Computer, Optics and Laser in Engineering Vol. 39 No. 4: 411–429, USA.
- Yaroslavsky L**, 2004. Digital Holography and Digital Image Processing. Kluwer Academic Publisher. New York.