

## EVALUASI PENGELESAAN LASER PADA PEMBUATAN MIKROKAPSUL BRAKHITERAPI LAJU DOSIS RENDAH

Diandono Kuntjoro Yoga, Anung Pujiyanto, Moch. Subechi, Rohadi Awaludin  
Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka BATAN  
E-mail : diandono14@yahoo.com

### ABSTRAK

**EVALUASI PENGELESAAN LASER PADA PEMBUATAN MIKROKAPSUL BRAKHITERAPI LAJU DOSIS RENDAH.** Pembuatan mikrokapsul brakhiterapi laju dosis rendah memerlukan proses yang cukup rumit sehingga perlu dilakukan evaluasi pada setiap tahap pembuatannya. Ukuran mikrokapsul yang sangat kecil dan penggunaan las laser yang memiliki banyak parameter menuntut evaluasi agar mendapatkan teknik pengelasan yang lebih efisien dan produk yang aman ketika diimplan ke dalam tubuh pasien. Penelitian ini mengevaluasi penggunaan energi laser, gerakan pengelasan dan kemungkinan perubahan komposisi unsur material setelah proses pengelasan. Evaluasi energi laser dilakukan dengan membandingkan pilihan bentuk pulsanya terhadap tembusan pengelasan. Gerakan pengelasan dibandingkan antara memutar pada sumbu vertikal terhadap gerakan memutar menggunakan sumbu x dan y. Sedangkan unsur material diamati menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM). Penggunaan bentuk pulsa *spike with ramp down* dapat menurunkan penggunaan *full power* hingga 40% dan hasil pengelasan pada daerah pelelehan terjadi peningkatan persentase C dan O namun tidak ditemukan penambahan unsur Ar dari gas selubung sehingga cukup aman untuk diimplan ke dalam tubuh pasien.

**Kata kunci:** mikrokapsul, brakhiterapi, las laser

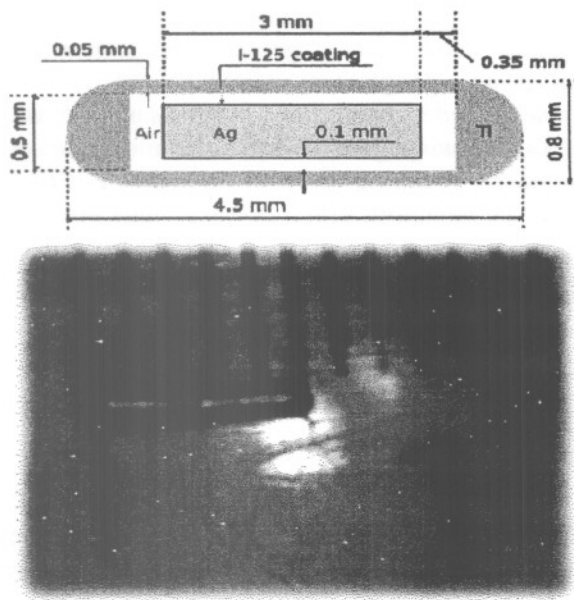
### ABSTRACT

**EVALUATION OF LASER WELDING PROCESS IN LOW DOSE RATE BRACHYTHERAPY MICROCAPSULES PRODUCTION.** Preparation of low dose rate brachytherapy microcapsules requires a complicated process that needs to be evaluated at each step of manufacture. Microcapsule size is very small and the use of laser welding has many parameters that should be evaluated in order to obtain an efficient welding technique and to get safe products that can be implanted into the body tissues. This study evaluated the use of laser energy, the movement of welding process and possible changes in the elemental composition of the material after the welding process. Evaluation was carried out by comparing the energy of laser pulse shape option to welding penetration. Welding movement was compared between turning on the vertical axis of the circular motion using x and y axes. The elements of the material were observed using scanning electron microscopy (SEM). The use of spike pulse shape with ramp down can reduce power usage up to 40%, the increase in the percentage of C and O in melting regions was found, additional elements of argon was not found, and hence microcapsule was safe to be implanted into the body tissues.

**Key-words :** microcapsule, brachytherapy, laser welding

## PENDAHULUAN

Badan Kesehatan dunia (WHO) memperkirakan angka kematian akibat kanker akan meningkat 45% pada tahun 2007 hingga 2030 (7,9 hingga 11,5 juta penderita). Sementara itu di beberapa negara berkembang kanker menempati urutan kedua sebagai penyakit yang mematikan setelah penyakit jantung [1].



Gambar 1. Dimensi dan foto mikrokapsul

Salah satu metoda penanganan kanker adalah dengan cara menempatkan bahan radioaktif di dekat jaringan yang terkena kanker. Metode pengobatan kanker dengan bahan radioaktif didekatkan jaringan yang terkena kanker ini disebut *brachytherapy*. *Brachytherapy* dengan bahan radioaktif laju dosis rendah dapat menggunakan Iodium-125 yang dilapiskan pada kawat perak, dikemas dalam mikrokapsul dari bahan titanium dan ditutup dengan menggunakan las laser. Setelah dilakukan pengujian kebocoran dan sterilisasi, mikro

kapsul ini kemudian diimplan ke dalam jaringan kanker [3].

Dalam proses pembuatannya, ukuran mikrokapsul yang kecil ini menimbulkan kesulitan yang cukup tinggi. Sementara itu karena mikrokapsul ini akan diimplan secara permanen ke dalam tubuh, maka diperlukan kualitas yang baik agar tidak berbahaya bagi pasien.

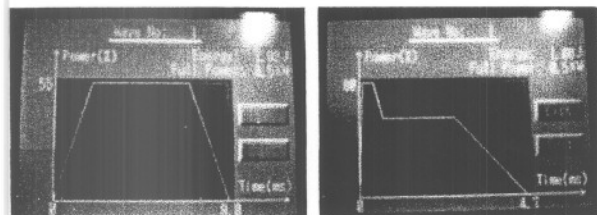
Proses pengelasan menggunakan laser, merupakan salah satu dari rangkaian proses produksi yang menentukan kualitas mikrokapsul ini. Kualitas pengelasan menggunakan laser dipengaruhi oleh beberapa parameter, diantaranya berkas laser dan gerakan meja kerja pada saat pengelasan. Untuk mendapatkan proses pengelasan yang lebih baik, maka perlu dilakukan evaluasi proses pengelasan pada mikrokapsul brakhiterapi ini.

## METODA PENELITIAN DAN FASILITAS YANG DIGUNAKAN

Penelitian ini menggunakan mesin las laser Nd-YAG untuk mengelas mikro kapsul dari bahan Ti6Al4V. Selain pada mikro kapsul, pengelasan juga dilakukan pada kawat titanium dengan bahan dan diameter yang sama untuk melihat tembusan pengelasan. Metode pengelasan dengan cara pelelehan pada posisi vertikal. Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan pengaturan bentuk gelombang laser terhadap hasil pengelasan. Pengaturan parameter ini meliputi pengelasan beda frekuensi, kecepatan las, pengaturan bentuk pulsa, geometri pelelehan dan perbedaan aliran gas selubung.

Pengaturan bentuk pulsa yang digunakan adalah bentuk pulsa trapezium dan pulsa kejut

menurun (*slope ramp down*) dengan beberapa beda durasi pulsa ( $T_p$ ).



**Gambar 2.** Bentuk pulsa trapezium (kiri) & kejut menurun (kanan)

Hasil pengelasan selanjutnya dipotong dengan menggunakan ampelas, dipoles dan dietsa menggunakan *Kroll's reagent* untuk dilihat hasil tembusannya [14,15]. Pengamatan hasil tembusan menggunakan mikroskop digital stereo.

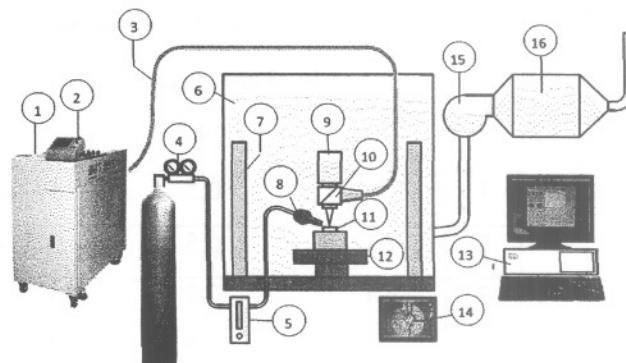
Selanjutnya dari beberapa hasil percobaan pengelasan yang sudah dilakukan kemudian dipilih parameter terbaik untuk mengelas mikrokapsul, dan dilakukan pengujian dan hasilnya dibandingkan dengan pengelasan awal.

Mesin laser yang dipergunakan adalah mesin laser Nd-YAG type PB 50A dari Han's Laser dengan spesifikasi ditunjukkan pada pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Spesifikasi mesin laser

Daya laser maksimal	50 W
Maximum peak power	5 W
Energy pulsa laser maksimal	50 J
Lebar pulsa	0,1 – 50 ms
Frekuensi	100 Hz

Benda kerja ditempatkan dalam *work station*, dicekam dengan menggunakan *chuck* dengan pergerakan yang dikendalikan dari sebuah PC. Bentuk pulsa laser dapat diatur menggunakan panel pengatur yang ada pada mesin pembangkit laser.



**Gambar 3.** Skematik alat las laser

Keterangan :

1. Mesin pembangkit laser
2. Panel control pengatur laser
3. Kabel serat optic penghantar laser
4. Tabung dan regulator gas selubung
5. Pengatur tekanan gas selubung
6. *Work station*
7. Perisai radiasi
8. Nozel gas selubung
9. Kamera CCD
10. Kolimator dan pemfokus
11. Pemegang benda kerja (*chuck*)
12. Meja penggerak
13. PC pengatur gerakan meja
14. Layer monitor pengelasan
15. *Exhaust fan*
16. *HEPA filter*

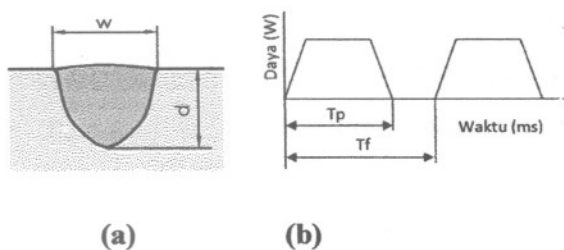
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil pengelasan dengan sekali tembakan laser dengan variasi bentuk pulsa diperoleh hasil seperti Tabel 2. Pada Tabel tersebut,  $w$  = lebar manik las,  $d$  = kedalaman las,  $d$  HAZ =

kedalaman HAZ, T = trapezium, KT = Kejut turun (*spike with ramp down*)

**Tabel 2.** Ringkasan data pengelasan variasi pulsa

No	Tp (ms)	Daya penuh (W)	w (µm)	d (µm)	d HAZ (µm)	Pulsa	type las
1	9	0.5	582.6	161.7	638.3	T	keyhole
2	7.1	0.5	530.4	157.4	655.3	T	keyhole
3	5.1	0.5	530.4	148.9	281.3	T	keyhole
4	4.1	0.5	445.2	157.4	293.6	T	keyhole
5	3.1	0.5	439.1	187.2	192.7	T	Konduksi
6	4.6	0.5	410.0	144.7	-	KT	Konduksi
7	5.6	0.5	447.8	136.2	285.1	KT	Konduksi
8	6.6	0.5	487.0	148.9	289.3	KT	Konduksi
9	5.6	0.6	504.3	127.7	202.2	KT	keyhole
10	6.6	0.8	487.0	89.4	280.9	KT	keyhole
11	6.6	1.0	591.0	174.5	391.5	KT	keyhole



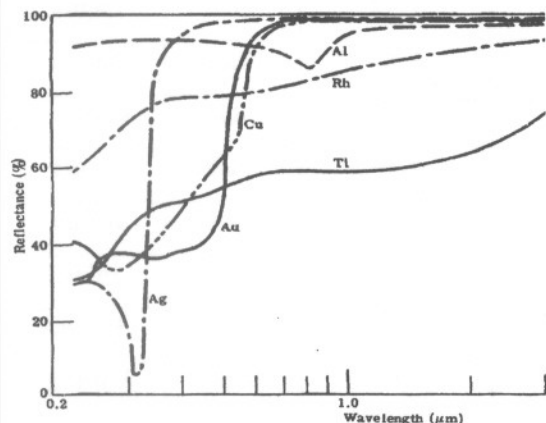
**Gambar 4.** Potongan melintang hasil las (a) dan bentuk pulsa laser (b)

Kedalaman tembusan sebanding dengan jumlah daya laser yang diberikan. Pengelasan laser

menggunakan energi dengan kepadatan tinggi dapat menghasilkan tembusan yang unik yaitu menyerupai lubang kunci yang biasa disebut dengan *keyhole*. Pengelasan dengan bentuk pulsa trapesium dengan daya 3,33 W hingga 5,76 W menghasilkan pengelasan *keyhole* namun tidak terjadi sampai melelehkan sehingga hanya memperbesar cakupan *heat affected zone (HAZ)*.

Pengaturan bentuk pulsa dari trapesium menjadi kejut turun dapat mengecilkan HAZ. Pada

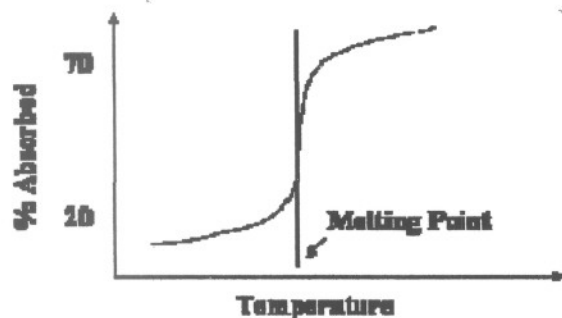
bentuk pulsa kejut menurun *keyhole* terjadi pada rata-rata daya > 4.83 W. Penggunaan bentuk pulsa kejut menurun juga meningkatkan efisiensi penggunaan energi laser.



Gambar 5. Reflektivitas titanium [5].

Pada suhu kamar, berkas laser Nd\_YAG dengan panjang gelombang 1.064 μm, sekitar 60% sinar datang dipantulkan oleh permukaan titanium. Pemberian panas kejut yang tinggi dapat memacu terjadinya pelelehan lebih cepat. Karena reflektivitas material pada titik leleh turun secara drastis, sehingga lebih banyak berkas laser yang diserap. Ketika sudah terjadi pelelehan energi laser diturunkan lagi agar tidak banyak material yang menguap (Gambar 6). [5]

Bentuk pulsa kejut turun menghasilkan efisiensi yang lebih baik bila dibandingkan pengaturan energi laser pada nilai yang sama. Penggunaan pulsa kejut turun cenderung tidak mengakibatkan adanya keropos, kecuali pada sampel no-7. Terjadinya keropos yang terlihat pada warna biru dibagian akhir pengelasan terjadi karena waktu fase pencairan dan pendinginan yang cukup besar yaitu 5 ms.



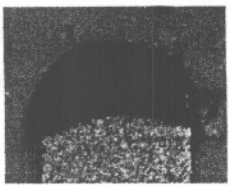
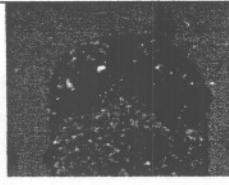
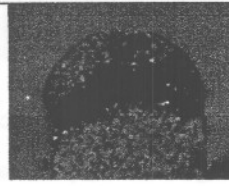
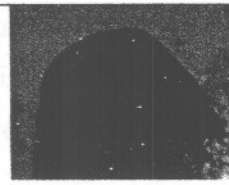
Gambar 6. Penyerapan kalor material

**Tabel 3.** Ringkasan data bentuk pelelehan las beda pengaturan pulsa

No	Energy (J)	Tp (ms)	Bentuk pulsa	Full power (KW)	Efisiensi (%)	Keropos	Geometris
1	1,75	5,4	T	0,5	1,47	tidak	bagus
2	1,47	7,1	T	0,5	1,47	ada	bagus
3	0,98	5,1	T	0,5	1,44	ada	bagus
4	0,74	4,1	T	0,5	1,37	tidak	bagus
5	0,56	3,1	T	0,5	1,21	ada	kurang
6	0,94	4,7	KT	0,5	1,46	tidak	bagus
7	1,34	5,7	KT	0,5	1,47	ada	bagus
8	1,25	6,7	KT	0,5	1,60	tidak	tidak
9	1,41	5,7	KT	0,6	1,69	tidak	bagus
10	1,96	5,7	KT	0,8	1,96	tidak	kurang
11	2,54	5,7	KT	1,0	2,11	tidak	tidak
12	2,00	4,7	KT	1,0	2,08	tidak	tidak
13	2,00	4,7	KT	1,2	2,08	tidak	bagus
14	1,95	4	KT	1,2	2,14	tidak	tidak

Tp= total durasi pulsa, T = trapezium, KT= kejut turun

**Tabel 4.** Hasil pengelasan dengan beda aliran gas

Laju aliran	Potongan Melintang
20 l/min	
18 l/min	
15 l/min	
12 l/min	

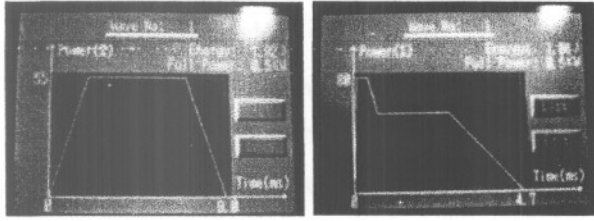
Kedalaman tembusan berbanding lurus dengan jumlah daya laser yang diberikan. Pengelasan dengan bentuk pulsa trapesium dengan daya 3.33 W hingga 5.76 W menghasilkan pengelasan *keyhole* namun tidak terjadi sampai melelehkan sehingga hanya memperbesar cakupan *heat affected zone (HAZ)*. Pengaturan bentuk pulsa dari trapezium menjadi ramp down dapat mengecilkan *HAZ*. Pada bentuk pulsa kejut menurun *keyhole* terjadi pada rata-rata daya > 4.83 W. Penggunaan bentuk pulsa kejut menurun juga meningkatkan efisiensi penggunaan energi laser.

Hasil pengujian disajikan dalam Tabel 3 dan Tabel 4.

Gas selubung pada pengelasan ini menggunakan gas argon, yang dipergunakan untuk melindungi benda kerja dari terjadinya oksidasi [12]. Pada pengelasan terjadi perubahan pelelehan benda kerja. Aliran gas selubung ini berpengaruh juga terhadap laju pendinginan benda kerja. Pendinginan yang terlalu cepat dapat menyebabkan terjadinya perubahan fase cair ke padat terlalu cepat sehingga dapat menyebabkan keropos pada benda kerja sehingga pengaruh aliran gas ini juga diamati dengan menggunakan pengelasan pada pengaturan parameter Frekuensi : 5 Hz, Energi laser : 1.22 J, Rata-rata daya : 6.10 W, Energi lampu : 70 J, Energi laser : 0.99 J, Efisiensi : 1.41, Daya Penuh : 0.3 kW. dan diperoleh hasil seperti pada Tabel 4. Pada gambar potongan hasil pengelasan pada tabel 4 terlihat bahwa semakin kecil laju aliran gas pendingin, semakin baik pembekuan yang terjadi.

**Pengaruh pengaturan bentuk pulsa terhadap tembusan las**

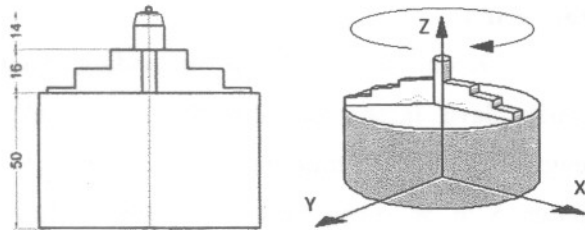
Kedalaman tembusan sebanding dengan jumlah daya laser yang diberikan. Pengelasan dengan bentuk pulsa trapesium dengan daya 3,33 W hingga 5,76 W menghasilkan pengelasan *keyhole* namun tidak terjadi sampai melelehkan sehingga hanya memperbesar cakupan *heat affected zone (HAZ)*. Pengaturan bentuk pulsa dari trapezium menjadi *ramp down* dapat mengecilkan *HAZ*. Pada bentuk pulsa kejut menurun *keyhole* terjadi pada rata-rata daya > 4,83 W. Penggunaan bentuk pulsa kejut menurun juga meningkatkan efisiensi penggunaan energi laser.



**Gambar 5.** Bentuk pulsa trapezium (kiri) & kejut menurun (kanan)

### Pengaruh gerakan pengelasan

Pengelasan dapat dilakukan dengan dua cara yaitu pengelasan memutar terhadap sumbu z (gerakan A) ataupun pergeseran posisi x dan y. Gerakan memutar lebih sederhana dalam pembuatan perintah program g-code namun berdasarkan dimensi yang ada, perlu kelurusan terhadap sumbu yang sangat kecil yaitu  $< 0.0345^\circ$ . Kelurusan ini sulit dilakukan, karena itu lebih mudah melakukan pengelasan dengan pergerakan posisi x dan y.



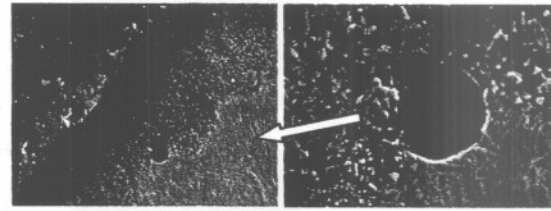
**Gambar 6.** Kelurusan dan arah sumbu putaran mikro kapsul terhadap meja kerja

### Penyebab keropos pengelasan

Keropos pada pengelasan dapat terjadi apabila perubahan fase cair menjadi padat saat pengelasan terlalu singkat, sehingga ada gas yang masih terjebak di dalam daerah pelelehan. Hal ini bisa diatasi dengan mengatur aliran gas selubung

(gas argon) atau pengaturan durasi pulsa yang lebih lama pada fase pendinginan.

Dari gambar potongan hasil las diketahui pengelasan dengan aliran argon 20 dan 18 l/min terlihat adanya lobang kecil, dan tidak ditemukan pada pengelasan dengan laju aliran gas argon 15 dan 12 l/min.



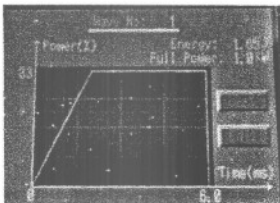
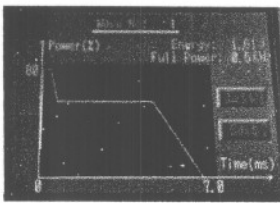
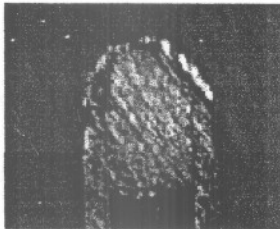

**Gambar 7.** lobang kecil akibat gelembung udara yang terjebak saat perubahan fase padat

Perubahan bentuk pulsa dengan menambah durasi fase pendinginan berdampak kepada peningkatan daya laser yang keluar sehingga kurang efisien. Durasi pendinginan 2 ms cukup baik pada penggunaan energy 1,6 J.

Dari beberapa pengelasan yang telah dilakukan, dipilih parameter yang terbaik dan dibandingkan hasilnya dengan pengelasan sebelum penelitian dan hasilnya disajikan dalam Tabel 5.



**Tabel 5.** Perbandingan hasil sebelum dan setelah pengaturan parameter las laser

sebelum	Setelah
frekuensi : 8 Hz	frekuensi : 3 Hz
Rata-rata daya : 13,2 W	Rata-rata daya : 4,83 W
Energi laser : 1,65 J	Energi laser : 1,61 J
Daya penuh : 1,0 KW	Daya penuh : 0,5 KW
aliran gas argon: 18 l/min	aliran gas argon: 15 l/min
Pengaturan pulsa:	Pengaturan pulsa :
2,0 ms 33%	0,1 ms 80%
4,0 ms 33%	0,3 ms 80%
2,0 ms 0%	0,3 ms 55%
	4,0 ms 55%
	2,0 ms 0%
	
	

### KESIMPULAN

Bentuk pulsa laser kejut menurun dapat meningkatkan penembusan dan menghemat pemakaian energy laser. Sedang pengaturan parameter dapat memberikan hasil penurunan penggunaan daya penuh sebesar 40%, penurunan penggunaan rata-rata daya sebesar 50,1%,

penghematan penggunaan gas argon sebesar 16,67% dan tembusan pengelasan yang lebih dalam.

### DAFTAR PUSTAKA

1. <http://www.who.int/features/qa/15/en/index.html> diunduh 21/11/2011
2. DASH *et al.* Development of miniature <sup>125</sup>I Sources for The Treatment of Eye and Prostate Cancers, Final report of a coordinated research project IAEA- TECDOC 1512, Vienna, 2006
3. FAN, H. *et al.* Preparation of <sup>125</sup>I seed sources for Implatation Theraphy of Prostate Cancer. Final report of a coordinated research project IAEA-TECDOC 1512, Vienna, 2006
4. <http://www.tvu.com/PNextGenTFWeb.html>, diunduh tanggal 28/12/2011
5. YIH-FONG TZENG, Parametric Analysis of The Pulsed Nd:YAG Laser Seam- Welding Process *Journal of Material Processing Technology*, 102 (2000) 40 – 47, Taiwan, 2000
6. PARK, S.J., *et al.*, Laser Welding Parameter Variations and its application for plastic Adhesion, *Journal of eletrical Engineering & Technology*, Vol 2, No.1 pp. 112-117, Pusan, 2007.
7. MILTON SEGIO FERNANDES DE LIMA, Laser Beam Welding of Titanium Nitride Coated Titanium Using Pulse-Shaping, *Material Research*, Vol. 8 No.3 pp 323-328, 2005.
8. LEE, H.K., HAN, H.S., *et al.* Optimization of Nd:YAG laser welding Parameter for Sealing Small Titanium Tube Ends, *Material Science and Engineering A*, pp 149-155, 2005
9. FUERSCHBACH P.W., AND EISLATION, G.R. , Effect of Laser Spot Weld energy and

- Duration on Melting and absorption, *Science and Technology of Welding and Joining* Vol 7 No.4, USA, 2002
10. GIRISH KELKAR, Pulsed Laser Welding WJM Technology, <http://www.welding-consultant.com> diunduh 29 Juli 2011.
11. S KATAYAMA *et al.* Penetration and Porosity Prevention Mechanism in YAG Laser-MIG hybrid laserWelding, *Journal of Light Metal Welding & Construction*, 44 (3) pp 99-109