

Karakterisasi Alginat Sebagai Bahan Setara Dengan Jaringan Lunak Untuk Radioterapi

Taat Guswantoro^{1*}, Astri Suppa Supratman², Imelda Sakti Asih²

¹Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Kristen Indonesia, Jakarta
Jln. Mayjen Sutoyo No.2 Cawang, Jakarta 1330 Indonesia

²Instalasi Radiologi, Rumah Sakit Ken Saras, Semarang

*e-mail: taat.guswantoro@uki.ac.id

Abstract

At the time of radiotherapy treatment in addition to cancerous tissue, normal tissue around the cancer will also be exposed to radiation doses, inappropriate radiation doses will cause normal tissue to potentially become new cancers called Organ at Risk (OARs). To minimize OARs by using a device made of soft tissue equivalent material that is placed over the surface of the skin called a bolus. The function of this material ensures an increase in surface dosage, this material is also flexible, easy to form, resistant to temperature changes. One of the materials that is easily formed, not easily deformed, flexible and durable is Alginate, because it is a natural hydrogel extracted from brown seaweed. Alginate that will be used in this research is alginate which is often used by dentists to print dentures. Alginate powder is formed by dough with distilled water, then printed in a mold measuring 11 x 11 cm with a thickness of 5, 7 and 9 mm. The characterization of this alginate gel includes electron density and an increase in surface dose percentage. Electron density is obtained by using CT-Scan to find out CT-Number which is then entered into the equation to obtain electron density, electron density from Alginate is obtained by 0.949 so Alginate can be said to be equivalent to breast tissue and fat tissue. Increasing the percentage of surface dose obtained by using the Linac device, obtained at 10 MeV energy Alginate thickness of 5 mm can increase by 0.50%, thickness of 7 mm can increase 9.97% and 9 mm can increase by 19.64%. At 12 MeV energy, 5 mm Alginate is able to increase 0.36%, 7 mm thickness increases by 6.46% and 9 mm thickness is able to increase by 15.03%. With this result Alginate is a soft tissue equivalent material and is able to increase the percentage of surface doses, so that alginate can be applied as a bolus for radiotherapy.

Keywords : *Alginate, Electron Density, Percentage of Surface Doses.*

PENDAHULUAN

Salah satu teknik untuk pengobatan penyakit kanker adalah dengan menggunakan radioterapi, yaitu dengan menembakkan radiasi pengion pada jaringan kanker dengan tujuan jaringan kanker akan menjadi rusak dan mati.

Radiasi pengion yang sering digunakan dalam radioterapi berupa berkas sinar Gamma yang merupakan hasil peluruhan isotop radioaktif atau radiasi yang dibangkitkan seperti sinar-X, berkas elektron, proton dan neutron. Produksi

sinar-X untuk keperluan radioterapi dengan menggunakan *Linier Accelerator* (Linac), yaitu dengan mempercepat elektron hingga energi kinetik tertentu sebelum dikenakan target dan terjadi sinar-X *Bremstrahlung*, sehingga Linac selain menghasilkan sinar-X, juga dapat menghasilkan berkas elektron dengan energi tertentu (Podgorsak, 2005).

Dosis radiasi akan menurun secara eksponensial seiring dengan ketebalan material yang berinteraksi dengan berkas radiasi pengion, sehingga diperlukan perhitungan yang tepat untuk dosis radiasi yang diterima sel kanker. Pada perlakuan radioterapi, berkas yang diradiasikan selain mengenai jaringan kanker juga dapat mengenai jaringan normal di dekatnya, sehingga dapat memunculkan *organs at risk* (OARs) yang dapat memunculkan sel kanker baru. Untuk meminimalisir OARs digunakan sebuah perangkat yang disebut bolus diletakkan di permukaan tubuh pasien pada saat iradiasi dilakukan (Cherry, 2009).

Bolus adalah material dengan sifat seperti jaringan lunak, dalam daya henti (*stopping power*) dan daya hambur (*scattering power*) radiasi, yang dipasang di permukaan kulit untuk mengurangi efek dari treatment radioterapi, serta memastikan dosis terbesar adalah di permukaan kulit. Bolus selain untuk meningkatkan dosis permukaan, juga dapat meratakan

permukaan yang tidak rata serta dapat mengurangi jumlah elektron yang menembus jaringan. Bahan untuk membuat bolus memiliki syarat-syarat sebagai berikut : homogen, tahan terhadap perubahan suhu, fleksibel, mudah menyesuaikan bentuk dan aman bagi kulit (Khan, 2003).

Bahan yang sering digunakan sebagai bolus adalah lilin (*paraffin wax*), *Polystyrene*, *Lucite*, *Superstuff* dan *Superflab* (Khan, 2003), sedangkan yang paling baik menurut Khan adalah *Superflab* karena transparan, fleksibel dan mirip air (*water equivalen*). Telah diuji sebagai bolus antara lain : *Aquaplast* (Hsu dkk, 2008), *Elasto-gel* (Gunhan dkk, 2013), *Kain rayon* (Visscher and barnet, 2016), *Polydimethyl Siloxane* (Junaedi dkk, 2016; Jaya dan sutanto, 2018), *Natural Rubber* (Supratman dkk, 2018). Bahan-bahan bolus di atas mampu meningkatkan dosis permukaan antara 82 – 102 %. Dari bahan-bahan di atas, selain *superstuff*, memerlukan proses penekanan atau pemanasan untuk dapat dibentuk sesuai kontur tubuh, sehingga akan sedikit mengganggu pasien, sedangkan *superstuff* sangat mudah mengalami deformasi dan berubah bentuk. Salah satu bahan yang mudah dibentuk tanpa pemanasan atau penekanan, tidak mudah mengalami deformasi serta aman

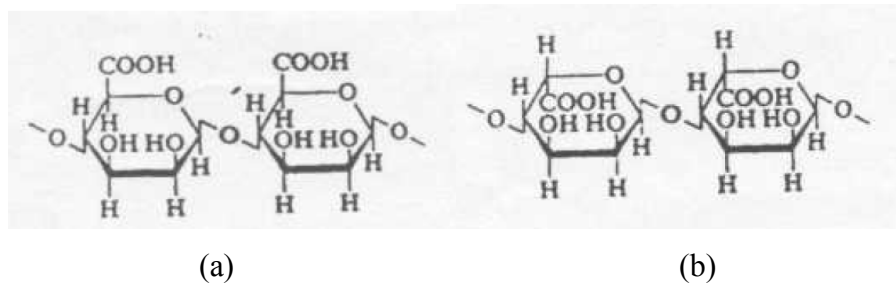
untuk kulit sehingga cocok untuk dijadikan bolus adalah Alginat.

Alginat merupakan kelompok polisakarida hasil ekstraksi rumput laut coklat (Laksanawati, 2017). Alginat merupakan hidrokoloid yang banyak dimanfaatkan sebagai pengental, pembentuk gel, *stabilizer* dan pengemulsi (Maharani dkk, 2017). Kelemahan sifat alami Alginat adalah kelarutan rendah, stabilitas larutan yang tidak baik serta pembentukan gel yang kurang sempurna, sehingga dalam aplikasinya penggunaan Alginat dan turunannya memerlukan modifikasi baik strukturnya maupun interaksinya dengan bahan lain (Subaryono, 2010).

Pembentukan gel dari Alginat berbeda dengan proses pembentukan gel dari agar-agar. Pembentukan gel dengan agar-agar memerlukan pemanasan, sedangkan pada Alginat tidak memerlukan pemanasan. Larutan *Natrium* Alginat dicampurkan dengan garam Ca, akan terjadi

reaksi kimia sehingga atom Ca menggantikan atom Na mengikat Alginat dan terbentuk gel, proses ini tidak memerlukan panas dan gel yang terbentuk tidak akan meleleh ketika dipanaskan (Subaryono, 2010). Untuk menjaga stabilitas dimensi maupun bentuk gel Alginat agar tidak berubah maka diperlukan teknik *impression*. Dalam teknik *impression* dari gel Alginat dikenal adanya *impression* Alginat dan *double impression* Alginat (Izadi dkk, 2017). Pemanfaatan *impression* Alginat maupun *double impression* Alginat dalam bentuk *powder* sering digunakan para dokter gigi untuk merekonstruksi gigi tiruan (Tanzil dkk, 2014).

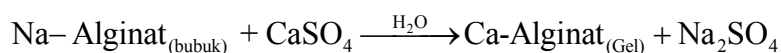
Alginat berasal dari asam Alginat yang dihasilkan dari rumput laut coklat. Alginat merupakan polimer yang terdiri asam D-Mannuronat dan L-guluronat, rumus molekul Alginat adalah $(C_6H_8O_6)_n$ dengan n berkisar antara 80 hingga 83 (Rasyid, 2005).



Gambar 1 Bentuk konfigurasi (a) asam D-mannuronat (b) asam L-guluronat (Rasyid, 2005).

Alginat dimanfaatkan sebagai bahan cetak dalam bentuk serbuk Natrium alginat dengan rumus kimia $(C_6H_7NaO_6)_n$ yang ditambahkan dengan Kalsium sulfat dihidrat sebagai reaktan. Alginat dapat membentuk gel dengan mekanisme larutan

natrium alginat ditambahkan garam Ca. Gel akan terbentuk karena adanya reaksi kimia yaitu kalsium akan menggantikan posisi natrium pada alginat dan mengikat molekul alginat yang panjang. Dengan skema reaksi kimia sebagai berikut:



Pembentukan gel pada umumnya yang memerlukan pemanasan, membutuhkan air 80°C , pembentukan gel pada Alginat tidak memerlukan pemanasan, karena gel Alginat dapat terbentuk pada suhu di bawah 40°C . Kemampuan lain dari Alginat adalah untuk membentuk film dari natrium atau kalsium alginat serta membentuk serat dari kalsium alginat (Subaryono, 2010).

Penggunaan dari Alginat adalah sebagai bahan cetak gigi tiruan adalah dalam bentuk serbuk Sodium Alginat. Karakterisasi bahan cetak Alginat yang telah dilakukan adalah mengenai viskositas, kadar air (Maharani dkk, 2017), kadar abu, derajat putih, PH (Sinurat dkk, 2017), perubahan massa dan perubahan dimensi (Nallamuthu et al, 2012). Karakterisasi Alginat yang pernah dilakukan adalah berkaitan fungsinya sebagai bahan cetak, sedangkan penggunaan sebagai bolus belum pernah dilakukan sebelumnya,

sehingga pada penelitian ini akan melakukan karakterisasi Alginat sebagai material yang setara dengan jaringan tubuh serta sebagai bolus untuk radioterapi. Pengujian yang dilakukan pada Alginat adalah dengan CT-Scan untuk memperoleh nilai densitas elektron relatif serta dengan menggunakan pesawat Linac untuk mendapatkan nilai kenaikan persentase dosis permukaan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di dua tempat, proses persiapan sampel dilaksanakan di Laboratorium Fisika Dasar Universitas Kristen Indonesia, Jakarta. Sedangkan untuk proses pengujian sampel dilakukan di Rumah Sakit Ken Saras, Ungaran, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah.

Sampel pada penelitian ini adalah adonan dari serbuk Alginat yang dicampurkan dengan air, adapun

Karakterisasi Alginat Sebagai Bahan

perbandingannya sesuai dengan instruksi dari kemasan produk adalah 6,4 gram serbuk alginat ditambahkan dengan 20 ml air. Pada pembuatan setiap sampel dalam penelitian ini menggunakan 32 gram serbuk, sehingga campuran air adalah 100 ml atau kira-kira seukuran setengah gelas minum. Wadah yang digunakan untuk mengaduk

adonan adalah wadah khusus yang bersifat fleksibel agar proses pengadukan dapat dilakukan dengan baik dan hasilnya homogen.

Setelah air dituangkan dalam serbuk alginat, kemudian diaduk dengan spatula, agar terjadi campuran yang homogen.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 2. Preparasi sampel. (a) Pencampuran serbuk Alginat dengan air; (b) Proses Pengadukan; (c) Proses Pencetakan; (d) Mengeluarkan dari cetakan dan (e) Sampel penelitian.

Setelah campuran sudah homogen kemudian dituangkan ke dalam cetakan berukuran 11 x 11 cm kemudian ditekan-tekan untuk menghilangkan rongga-rongga udara di dalam adonan. Proses penekanan juga dilakukan dengan tujuan untuk mengatur ketebalan sampel, yaitu dengan membiarkan sebagian adonan keluar dari cetakan. Setelah ketebalan yang diinginkan tercapai, maka adonan dibiarkan beberapa saat sampai melewati waktu setting nya sebelum akhirnya dilepaskan dari cetakan. Cara mengetahui adonan sudah melewati waktu setting adalah dengan mengamati bagian adonan yang keluar dari cetakan ketika sudah mengeras dan bentuknya tidak dapat diubah lagi. Pada preparasi sample ini diperoleh sampel yang homogen pada ketebalan 5 mm, 7 mm dan 9 mm. Proses preparasi sample dapat dilihat pada gambar 2.

Hasil cetakan Alginat bersifat fleksibel dan elastis tetapi memiliki bentuk yang tidak berubah, oleh sebab itu banyak digunakan untuk bahan cetak. Keelastisitasan dan kefleksibelan bahan ini akan terjaga selama kadar air nya tetap ada atau bahan dalam kondisi basah, ketika sudah kering maka bahan ini akan bersifat kaku dan mengalami deformasi bentuk. Sebelum dilakukan pengujian, untuk tetap menjaga kadar air dalam sample maka

disimpan dengan cara merendam di dalam air, agar bahan tetap elastis dan fleksibel.

Densitas elektron dari bolus diperoleh dengan melakukan *scanning* bolus dengan pesawat CT-Scan. Pada tahap awal bolus diletakkan pada couch pesawat CT-Scan. Kemudian dilakukan *setting* pada pesawat CT-Scan yaitu tegangan dan arus pada tabung sinar x yang ada di pesawat CT-Scan. Setelah dilakukan *setting*, CT-Scan diaktifkan untuk mulai melakukan *scanning* pada bolus. Hasil *scanning* oleh CT-Scan diperoleh citra dari bolus, citra yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mendapatkan *CT-Number* nya. Setelah diperoleh *CT-Number* maka densitas elektron diperoleh dengan persamaan :

$$N_e = 1,052 + 0,00048N_{CT} \quad \text{untuk} \\ N_{CT} > 100$$

$$N_e = 1,000 + 0,001N_{CT} \quad \text{untuk} \\ N_{CT} < 100$$

Persentase dosis permukaan diperoleh dengan meradiasikan berkas elektron ke bolus dengan menggunakan pesawat Linac. Pada tahap awal yang dilakukan adalah meletakkan solid phantom pada couch pesawat Linac dan mengatur besarnya SSD pada jarak tertentu. Melakukan setting pada pesawat Linac pada luas aplikator yang dikeluarkan. Energi pada berkas elektron yang dikeluarkan Linac diperoleh dengan

mengatur tegangan pada Linac. Setelah semua sesuai, kemudian Linac diaktifkan untuk meradiasi solid phantom. Dosis radiasi diukur dipermukaan solid phantom (D_s) serta pada kedalaman tertentu pada solid phantom (D_d). Dari berbagai macam pengukuran dosis kedalaman maka akan diperoleh dosis maksimum (D_{max}). Menghitung persentase dosis permukaan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\%Dosis = \frac{D_s}{D_{max}} \times 100\% \quad (1)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Sampel dengan Pesawat CT-Scan

Pengujian dengan CT-Scan bertujuan untuk memperoleh nilai HU atau CT-Number dari bahan yang diuji. Nilai CT-Number dari bahan ini kemudian akan dibandingkan dengan nilai CT-Number dari jaringan-jaringan lunak yang ada di dalam tubuh manusia.



Gambar 3. Pengujian sample dengan menggunakan Pesawat CT-Scan.

Nilai CT-Number ini merepresentasikan densitas dari bahan atau material yang digunakan. Dengan mengetahui nilai CT-Number dari bahan ini, maka dapat diperkirakan densitas dari

material setara dengan jaringan tertentu, sehingga dapat digunakan lebih lanjut sebagai Phantom dari jaringan yang sesuai. Pengujian dengan menggunakan CT-Scan dapat dilihat pada gambar 3.

Dari hasil pengujian sampel yang dilakukan diperoleh besarnya CT-Number kemudian dari nilai ini digunakan persamaan untuk mendapatkan nilai

Densitas Elektron Relatif dari bahan. Hasil pengujian sampel yang telah dilakukan tersaji pada tabel berikut :

Tabel 1. Hasil pengujian Alginat dengan menggunakan CT-Scan

No	Ketebalan (mm)	CT-Number	Densitas Elektron Relatif
1	5	-43	0,957
2	7	-56	0,944
3	9	-53	0,947
	Rata-rata	-51	0,949

Kesetaraan dengan jaringan lunak pada tubuh diperoleh dengan cara membandingkan besarnya densitas elektron

relatif dari alginat dibandingkan dengan organ. Besarnya densitas elektron dari berbagai organ disajikan dalam tabel 2.

Tabel 2. Densitas elektron relatif organ tubuh manusia (Gamex, 2015)

No	Jaringan	Densitas elektron relatif
1	Paru-paru (LN-300)	0.29
2	Paru-paru (LN-450)	0.40
3	Lemak (AP6)	0.90
4	Payudara	0.96
5	Otak	1.05
6	Hati (LV1)	1.07
7	Air	1.00
8	Tulang (B200)	1.11

Berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian dan dibandingkan dengan data dari tabel maka dapat dilihat bahwa Alginat

memiliki kesetaraan paling dekat dengan Jaringan Payudara dengan perbedaan Densitas elektron relatif hanya 1,1%,

alginat memiliki kerapatan yang sedikit lebih rendah dari pada Payudara. Dari data yang disajikan pada tabel 2, Alginat juga mendekati jaringan lemak yaitu dengan perbedaan Densitas elektron relatif sebesar 5%, alginat memiliki kerapatan yang lebih tinggi dari jaringan lemak. Dari data-data tersebut maka dapat dikatakan bahwa alginat memiliki kesetaraan dengan jaringan Payudara dan jaringan lemak, namun lebih mendekati ke jaringan payudara.

Pengujian Sample dengan pesawat Linac

Pengujian dengan pesawat Linac bertujuan untuk memperoleh nilai dosis radiasi yang akan diteruskan oleh alginat,

dengan mengetahui dosis ini maka dapat dihitung besarnya persentase dosis permukaan dari alginat. Energi berkas yang digunakan dalam pesawat linac dalam penelitian ini adalah sebesar 10 MeV dan 12 MeV dengan dosis permukaan masing-masing 200 cGy. Adapun jarak SSD yang digunakan sebesar 100 cm. Solid Phantom digunakan dalam penelitian ini untuk mengetahui besarnya dosis kedalaman maksimal. Alginat yang diuji diletakkan di atas solid Phantom tetapi tetap mempertahankan besarnya SSD, sehingga ketika ditambahkan alginat maka mengatur ulang jarak SSD sesuai ketebalan Alginat.



(a)



(b)

Gambar 4. (a) Pesawat Linac dan Elektrometer; (b) Pengujian Sampel dengan pesawat Linac

Hasil pengujian diperoleh besarnya dosis kedalaman maksimal untuk energi 10 MeV berada pada kedalaman 2,2 cm di dalam Solid Phantom dengan dosis kedalaman sebesar 200,39 cGy, sedangkan untuk energi 12 MeV berada pada kedalaman 2,6

cm di dalam Solid Phantom dengan dosis kedalaman sebesar 199,38 cGy. Pengukuran tanpa dan dengan menggunakan Alginat dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Pengukuran Persentase dosis kedalaman.

Energi	Alginat	D_s (cGy)	D_{max} (cGy)	PSD (%)	Kenaikan PSD
10 MeV	-	200	200,39	99,81	-
	5 mm	200	199,39	100,31	0,50 %
	7 mm	200	182,21	109,76	9,97 %
	9 mm	200	167,49	119,41	19,64 %
12 MeV	-	200	199,38	100,31	-
	5 mm	200	198,66	100,67	0,36 %
	7 mm	200	187,29	106,79	6,46 %
	9 mm	200	173,33	115,39	15,03 %

Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa pada sample dengan ketebalan 5 mm mampu meningkatkan persentase dosis permukaan (PSD) sebesar 0,50 % untuk energi 10 MeV, dan 0,36 % untuk energi 12 MeV jika dibandingkan dengan PSD dari Solid Phantom tanpa dilapisi sample. Sampel dengan ketebalan 7 mm mampu meningkatkan PSD 9,97 % untuk energi 10 MeV dan 6,46 % untuk energi 12 MeV, dan untuk sampel dengan ketebalan 9 mm mampu meningkatkan PSD sebesar

19,64 % untuk energi 10 MeV dan 15,03 % untuk energi 12 MeV.

Dari data-data tersebut maka dapat dikatakan bahwa semakin besar ketebalan sampel maka kenaikan PSD akan lebih besar. Sedangkan ketika dilihat dari energi Linac yang digunakan maka dapat dilihat bahwa semakin besar energi linac yang digunakan, kenaikan PSD akan semakin kecil.

Berdasarkan data pada tabel-tabel di atas diperoleh bahwa bahan Alginat yang digunakan sebagai sampel memiliki

densitas yang setara jaringan payudara atau lemak sehingga bahan ini dapat digunakan sebagai bahan Phantom untuk Jaringan Payudara atau jaringan lemak. Sifat dari bahan Alginat mampu meningkatkan persentase dosis permukaan, dengan demikian bahwa bahan Alginat merupakan salah satu bahan yang cocok untuk dijadikan sebagai bolus pada radioterapi. Dengan demikian bahan Alginat dapat dimanfaatkan juga sebagai bahan Phantom maupun Bolus yang merupakan bahan yang setara dengan jaringan lunak.

KESIMPULAN

Bahan Alginat merupakan bahan yang sering dipakai untuk bahan cetak gigi, setelah dilakukan pengujian dengan menggunakan pesawat CT-Scan diperoleh bahwa bahan ini memiliki nilai densitas elektron sebesar 0,949 yang setara dengan jaringan payudara atau jaringan lemak. Setelah dilakukan pengujian dengan pesawat Linac diperoleh bahwa bahan Alginat dapat meningkatkan besarnya dosis permukaan, semakin besar ketebalan bahan maka semakin besar juga kenaikan PSD, namun kenaikan PSD akan mengecil ketika energi Linac dinaikkan. Berdasarkan sifat-sifat yang diperoleh dari pengujian dengan menggunakan CT-Scan dan Linac maka bahan Alginat merupakan bahan setara

jaringan lunak yang dapat digunakan sebagai bahan Phantom dan Bolus.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyani, Anugrah S., Wahyu Setiabudi, Choirul Anam. 2012. Pengaruh Perubahan Tegangan Tabung (kVp) Terhadap CT *Number* dan Uniformitasnya Pada Pesawat CT Scan. *Jurnal Sains dan Matematika* 20(3) pp 77 – 80.
- Cherry, Pam. 2009. *Practical Radiotherapy: Physics And Equipment*. Jhon Willey & Son : Singapore.
- Gamex (A Sun Nuclear Company). 2015. *CT Electron Density Phantom*. https://www.sunnuclear.com/documents/datasheets/gammex/ct_electron_density_phantom.pdf
- Günhan B, Kemikler Gand Koca A. 2003. *Determination of surface dose and the effect of bolus to surface dose in electron beams*. *Med.Dosim.* 28(3) pp 193–198.
- Hsu SH, Roberson P L, Chen Y, Marsh R B, Pierce L J and Moran JM. 2008. *Assessment of skin dose for breast chest wall radiotherapy as a function of bolus material*. *Phys. Med.Biol.* 53 pp 2593 – 2606
- Izadi, Alireza., Vafae, Fariborz., Heidari, Bijan., Khazaei, Sara., Hanif,

- Bahman Afshar. And Allahbakhshi. 2017. *A Comparison Study of Dimensional Stability of Primary Impression Techniques : Dual Alginat Impression Techniques*. Scholars Journal of Dental Sciences 4(6) pp 6 – 13.
- Jaya, GW and Sutanto, H. 2018. *Fabrication and characterization of bolus material using polydimethylsiloxane*. Material Research Express 5 pp 1–7.
- Junaedi, Dodi., Setiawati, Evi., Arifin, Zaenal., Ramantisa, Sanggam. 2016. Analisis Penguunaan Polydimethyl Siloxane sebagai Bolus dalam Raditerapi Menggunakan Elektron 8 MeV Pada Linac. Youngster Physics Journal 5(4) pp 391 – 398.
- Kulzer. 2017. *Guideline for taking perfect situation impressions*. Kulzer GmbH : Germany.
- Laksanawati R, Ustadi, Husni A. 2017. Pengembangan Metode Ekstrasi Alginat dari Rumput Laut *Turbinaria ornata*. Jurnal Pengelolaan Hasil Perikanan Indonesia. 20 (2) pp 362 - 369.
- Maharani AA, Husnii A, Ekantari N. 2017. Karakteristik Natrium Alginat Rumput Laut Cokelat *Sargasum fluitans* dengan metode ekstrasi yang berbeda. Jurnal Pengelolaan Hasil Perikanan Indonesia. 20 (3) pp 478 – 487.
- Nallamuthu, Navina A., Michael Braden, Mangala P. Patel. 2012. *Some Aspect of The Formulation of Alginate Dental Impression Materials – Setting Characteristics and Mechanical Properties*. Dental Material 28 pp 756 – 762
- Niranjan, R.S., Rudraswamy, B., and Dhananjaya, N. 2012. *Effective Atomic Number, Density electron and Kerma of Gamma Radiation for Oxides of Lanthanides*. Pramana Journal of Physics 78(3) pp 451 - 458
- Podgorsak E B. 2005. *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teacher and Students* (Vienna: International Atomic Energy Agency)
- Rasyid, Abdullah. 2005. Beberapa Catatan Tentang Alginat. Oseana 1 pp 9 – 14
- Sinurat, Ellya., Retni Marlioni. 2017. Karakteristik Na-Alginat dari Rumput Laut Cokelat *Sargasum crassifolium* Dengan Perbedaan Alat Penyaring. Jurnal Pengelolaan Hasil Perikanan Indonesia. 20 (2) pp 351 – 361

- Subaryono. 2010. Modifikasi Alginat dan Pemanfaatan Produknya. *Jurnal Squalen* 5(1) pp 1 – 7.
- Supratman, AS., Sutanto, H., Hidayanto, E., Jaya GW., Astuti, SY., Budiono, T. And Firmansyah, MA. 2018. *Characteristic of Natural Rubber as Bolus Material for Radiotherapy*. *Material Reaserch Express* 5 pp 1 – 6.
- Singh, K and Gagandeep. 2002. *Effective Atomic Number Studies in Different Body Tissues and Amino Acid*. *Indian Journal of Pure and Applied Physics* 40 pp 442 – 449
- Singh, Vishwanath P., N.M. Bagiger., and Nil Kucuk. 2014. *Determination of Effective Atomic Number Using Different Method for Some Low-Z Materials*. *Journal of Nuclear Chemistry* 2014 pp 1 – 7.
- Visscher, Scott and Barnet, Erin. 2017. *Comparison of bolus material to highly absorbent polypropylene and crayon cloth*. *Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences* 48 pp 55–60.
- Yusoff, MF. Mohd., Hamid, PNK Abd., Tajuddin, AA., Hashim, R., Bauk, S., Isa, N Mohd. and Isa, MJ Md., 2017. *Fabrication and characterisation of phantom material made of Tannin-added Rhizophora spp. particleboards for photon and electron beams*. *Journal of Physics: Conf. Series* 851 pp 012 - 036.

