



Radioterapi & Onkologi Indonesia

Journal of the Indonesian Radiation Oncology Society



Penelitian Ilmiah

KETEPATAN SENSOR ULTRASONIK DALAM MENDETEKSI PERGERAKAN DINDING DADA PADA PASIEN DENGAN KEGANASAN REGIO THORAKAL DAN ABDOMINAL YANG MENJALANI RADIOTERAPI

Elia A. Kuncoro, Soehartati Gondhowiardjo

Departemen Radioterapi RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo, Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia, Jakarta

Abstrak / Abstract

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

- Diterima April 2015
- Disetujui Mei 2015

Alamat Korespondensi:

dr. Elia A. Kuncoro, Sp.Onk.Rad

E-mail: elia3714@gmail.com

Radioterapi pada regio thorakal dan abdominal semakin menimbulkan peminatan seiring dengan berkembangnya teknik pencitraan, perencanaan penyinaran, dan imobilisasi. Pergerakan tumor karena pernafasan menjadi tantangan yang harus diatasi dalam penyampaian dosis radiasi. Diperlukan mekanisme radioterapi adaptif untuk dapat melakukan penyesuaian terhadap pergerakan nafas. Penelitian ini merupakan studi *cross-sectional* yang mengambil data pengukuran gerakan dinding dada menggunakan sensor ultrasonik secara *real-time* dan dibandingkan dengan pengukuran sesungguhnya yang diperoleh dari *MotionView™*. Setiap pengukuran dilakukan setiap 0,22 detik. Dilakukan pengukuran nilai korelasi antar dua set data pengukuran serta dihitung selisih kedua pengukuran untuk mendapatkan nilai estimasi dan simpangan deviasi dari nilai yang diperoleh. Sembilan orang sampel berhasil direkrut dalam penelitian ini, pada masing-masing sampel, data diambil sebanyak 3 kali. Diperoleh median selisih pengukuran dari kedua instrumen adalah 1,1 mm dengan simpangan deviasi 2,0 mm. Pada uji korelasi antar hasil pengukuran didapatkan bahwa nilai yang diperoleh dari instrumen berbasis ultrasonik memiliki korelasi 0,97 (positif sangat kuat; $p=0,000$). Hasil penelitian menunjukkan bahwa instrumen berbasis ultrasonik memiliki kemampuan untuk mengukur pergerakan dinding thorako-abdominal dengan kekuatan korelasi sangat kuat, dengan ketepatan resolusi sebesar 1,1 mm dengan simpangan deviasi $\pm 2,0$ mm.

Kata kunci : radioterapi adaptif, gerak pernafasan, sensor ultrasonik

The interest in radiotherapy for thoracic and abdominal malignancy is increasing, in accordance with the improvement of imaging, treatment planning, and immobilization technique. Tumor motion as a consequence of respiration is a challenging issue in terms of dose delivery. Adaptive radiotherapy must be able to synchronize radiation delivery with respiratory motion. This research compares the measurements of thoracic wall movement acquired from two different device: ultrasound based instrument vs MotionView™ as a reference standard. Each measurement data was collected every 0,22 second, then the two datasets were analyzed to obtain the correlation coefficient and the absolute difference, to calculate the point of estimate and the deviation standards between instruments. Nine samples were recruited and their data was collected for three sequential fractions. The median difference between instruments were 1,1 mm with standard deviation of 2,0 mm. Correlation study between the measurement results showed that the values obtained from an ultrasonic-based instruments were 0.97 (very strong positive; $p = 0.000$). The results showed that ultrasonic-based instruments is able to measure the movement of the thoracoabdominal, with a difference of 1.1 mm and deviation of ± 2.0 mm compared to reference standard.

Keywords: adaptive radiotherapy, respiratory motion, ultrasonic sensor

Hak Cipta ©2015 Perhimpunan Dokter Spesialis Onkologi Radiasi Indonesia

Pendahuluan

Sasaran radioterapi adalah untuk memberikan dosis radiasi yang cukup dan terukur untuk jaringan tumor, dengan semaksimal mungkin mengurangi dosis pada jaringan sehat, dengan tujuan untuk mengeradikasi sel

kanker, meningkatkan kualitas hidup, memperpanjang harapan hidup, dengan harga dan pengeluaran yang layak.¹ Keberhasilan radioterapi ditentukan oleh keakuratan dalam pemberian dosis pada organ target maupun keakuratan dalam menyisihkan jaringan sehat.²

Pada kanker di regio thorakal yang menjalani radioterapi, perubahan posisi karena gerakan pernafasan meningkatkan kemungkinan penyampaian dosis radiasi yang kurang presisi sehingga mengharuskan adanya margin yang besar di sekitar target radiasi. Pemberian margin tersebut menyebabkan dosis maupun volume distribusi yang diterima oleh jaringan sehat seperti paru dan jantung menjadi bertambah, dan dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya efek samping lanjut.

Penelitian menunjukkan pada 165 pasien dengan kanker payudara kiri yang mendapatkan radioterapi memiliki resiko 44% lebih besar untuk mengalami kematian karena penyakit jantung.³ Penelitian lainnya juga menunjukkan adanya korelasi antara volume jantung yang mendapat dosis radiasi dengan mortalitas karena penyakit jantung, dan volume paru yang mendapat dosis radiasi memiliki korelasi dengan gangguan fungsional paru.⁴ Untuk mendapatkan ketepatan yang lebih baik, diperlukan pemberian radiasi yang dapat disesuaikan dengan perubahan posisi target karena gerak nafas.

Usaha untuk melakukan penyesuaian tersebut memunculkan istilah baru yang disebut *respiration adaptive radiotherapy* atau radioterapi adaptif. Radioterapi adaptif telah diteliti sejak tahun 1996, dan melahirkan berbagai teknik, termasuk menghasilkan instrumen-instrumen untuk memonitor fase dan amplitudo pernafasan seperti *SpyroDyn RX* yang berbasis spirometri, *RPM Varian* yang memonitor pergerakan dinding dada berbasis *infrared*, *ANZAI Siemens*, penggunaan marker implan, dan lain-lain.⁵

Penggunaan instrumen-instrumen komersial tersebut dapat memberikan informasi tambahan mengenai perubahan posisi karena siklus pernafasan dan pergerakan dinding dada dengan masing-masing keunggulan dan keterbatasan. Salah satu keterbatasan yang dijumpai adalah harga dan perawatan yang cukup mahal. Penggunaan instrumen berbasis sonar sampai saat ini belum pernah diteliti dan diketahui ketepatannya.

Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan studi *cross-sectional* yang mengambil data pengukuran gerakan dinding dada menggunakan sensor sonar / ultrasonik secara *real-time* dan dibandingkan dengan pengukuran dari *motion view*TM sebagai *reference standard*, pada pasien yang

dilakukan radioterapi di pesawat Synergy S, kemudian dilakukan perbandingan antara kedua pengukuran.

Penelitian dilakukan di Departemen Radioterapi RSCM selama 2 bulan dari bulan September sampai dengan Oktober 2013, dan melibatkan sembilan pasien yang memenuhi kriteria inklusi, yaitu pasien dengan kanker regio torakal dan abdominal yang memiliki KPS > 80% dan dapat memenuhi instruksi. Pasien dieksklusi jika didapatkan keluhan batuk atau sesak, dan jika mengalami gangguan pendengaran sehingga menghambat pasien untuk mengikuti instruksi yang diberikan melalui interkom.

Pasien yang akan menjalani radiasi diberikan *coaching* oleh peneliti, mengenai instruksi khusus yang disampaikan melalui pesawat intercom di dalam ruangan penyinaran, agar pasien dapat bernafas mengikuti instruksi yang diberikan oleh petugas mengenai tiga instruksi utama: tarik nafas dalam dan tahan, buang nafas dalam dan tahan, serta nafas biasa. Pada saat penyinaran fraksinasi pertama, dilakukan pemasangan alat monitoring pernafasan pada *treatment couch*, sesuai dengan posisi lubang *indexing* yang sesuai (1,2,3,a,b,c); *indexing* dicatat dalam dokumentasi. Detektor diposisikan kurang lebih di pertengahan antara processus xiphoideus dan umbilicus, dan dengan bantuan *inroom* laser, detektor diposisikan secara tegak lurus pada titik acuan. Titik acuan kemudian diberikan *tatto*. Detektor diletakkan pada jarak / ketinggian 5-10 cm dari dinding abdomen, parameter ketinggian dicatat dalam dokumentasi. Data pengukuran gerakan pernafasan kemudian diambil, dan diekstraksi dalam bentuk tabel jarak terhadap waktu.

Hasil pengukuran dari sistem monitoring pernafasan berbasis sonar / ultrasonik dibandingkan dengan pengukuran dari *MotionView*TM, dan dilakukan analisis data.

Hasil Penelitian

Rentang usia subjek penelitian adalah antara 32-69 tahun dengan rerata usia adalah 52 tahun. Distribusi jenis kelamin pada subjek penelitian terdiri dari 6 orang berjenis kelamin perempuan, dan 3 orang pasien berjenis kelamin laki-laki. Karakteristik sampel menurut regio / jenis keganasan, terdiri dari 1 pasien dengan *thymoma*, 1 pasien dengan *chordoma pelvis*, 3 pasien

dengan kanker serviks, 2 pasien dengan kanker payudara, 1 pasien dengan *schwannoma* pelvis, dan 1 pasien dengan kanker paru. Distribusi pasien sesuai dengan karakteristiknya dapat dijelaskan pada tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik pasien

Karakteristik	n (9)	%
Kelompok umur		
< 40 thn	2	22,2
40-50 thn	1	11,1
>50 thn	6	66,6
Jenis kelamin		
Laki – laki	3	33,3
Perempuan	6	66,6
Jenis keganasan		
Kanker payudara	2	22,2
Kanker paru	1	11,1
<i>Thymoma</i>	1	11,1
<i>Chordoma pelvis</i>	1	11,1
Kanker serviks	3	33,3
	1	11,1

Tabel 2. menunjukkan besarnya perubahan posisi dinding dada pada saat inspirasi dalam pada fraksi pertama, kedua, dan ketiga. Pada pengamatan ini didapatkan adanya rerata SD perbedaan posisi saat inspirasi dalam sebesar 2,11 mm.

Tabel 2. Perbedaan posisi dinding dada antar-fraksi pada inspirasi dalam

No. Sam-pel	Mean inspirasi dalam (mm)	Perbedaan terhadap fraksi ke			SD (mm)
		1	2	3	
1	37,30	-1,54	0,71	0,85	1,34
2	43,37	2,21	1,75	-3,97	3,44
3	36,43	0,87	-1,72	0,85	1,49
4	23,33	2,29	-1,06	-1,22	1,98
5	46,51	3,22	-0,61	-2,61	2,96
6	40,11	-0,74	2,37	-1,61	2,09
7	21,13	0,63	-1,33	0,72	1,16
8	45,41	-1,90	1,73	0,17	1,82
9	41,67	2,53	0,29	-2,82	2,69
Mean					2,11
SD					

Tabel 3. Menunjukkan besarnya perubahan posisi dinding dada pada saat ekspirasi pada fraksi pertama, kedua, dan ketiga. Pada pengamatan ini tampak adanya rerata SD perbedaan posisi dinding dada saat ekspirasi dalam sebesar 1,6 mm.

Tabel 3. Perbedaan posisi dinding dada antar-fraksi pada ekspirasi dalam

No. Sam-pel	Mean ekspirasi dalam (mm)	Perbedaan terhadap fraksi ke			SD (mm)
		1	2	3	
1	60,61	-1,61	0,19	1,37	1,50
2	54,69	0,22	1,82	-0,79	1,32
3	56,97	1,56	-3,62	-1,56	2,61
4	50,36	-0,02	0,01	0,00	0,02
5	61,64	0,00	-0,14	-1,24	0,68
6	62,90	-0,22	1,33	-1,10	1,23
7	36,14	-0,39	-0,34	0,74	0,64
8	65,09	-3,97	-0,34	4,32	4,16
9	59,64	-1,94	2,52	-0,59	2,29
Mean Σ					1,60

Posisi inspirasi pada saat pernafasan biasa terdapat perbedaan baik intra-fraksi maupun antar-fraksi. Perbedaan intra-fraksi yang dijumpai menunjukkan deviasi sebesar 2,43 mm. Sedangkan pada pengamatan antar-fraksi, deviasi perubahan posisi adalah sebesar 2,3 mm (tabel 4).

Posisi ekspirasi pada saat pernafasan biasa terdapat perbedaan baik intra-fraksi maupun antar-fraksi. Perbedaan intra-fraksi yang dijumpai menunjukkan deviasi sebesar 1,06 mm. Sedangkan pada pengamatan antar-fraksi, deviasi perubahan posisi adalah sebesar 1,48 mm (tabel 5).

Analisis mengenai nilai amplitudo yang ditampilkan instrumen berbasis ultrasonik dikorelasikan dengan *MotionView™* menunjukkan korelasi positif dengan kekuatan korelasi 0,824 dan nilai $p=0,000$. Kekuatan korelasi 0,824 menunjukkan adanya korelasi yang sangat kuat antara kedua alat ukur dalam menunjukkan amplitudo gerak dinding dada, dengan tingkat kemaknaan yang tinggi.

Tabel 7. menerangkan rerata selisih pengukuran antara kedua instrumen pengukuran. Dari tabel ditunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara kedua alat ukur dengan rata-rata perbedaan sebesar 1,15 mm, dengan simpangan deviasi 2,06 mm.

Analisis mengenai nilai dari keseluruhan 1987 pasang titik korelasi, dari pengukuran yang ditampilkan instrumen berbasis ultrasonik dikorelasikan dengan

Tabel 4. Perbedaan posisi inspirasi saat pernafasan biasa (intra dan antar fraksi)

No.	Fraksi ke	Ins 1	Ins 2	Ins 3	Ins 4	Ins 5	Ins 6	Ins 7	Mean	SD intra-fx	SD mean antar-fx	
1	Fraksi 1	53,35	51,80	53,35	52,8	54,39	47,14		52,14	2,59	2,19	
	Fraksi 2	54,59	56,14	55,62	57,18	50,96			54,90	2,39		
	Fraksi 3	56,28	55,78	56,28	57,32	56,28	56,8		56,46	0,53		
2	Fraksi 1	47,14	48,17	48,17	48,17	47,14	47,14		47,66	0,56	2,45	
	Fraksi 2	48,74	49,78	47,71	47,71	47,71	48,74	47,71	48,30	0,81		
	Fraksi 3	45,61	45,10	44,06	44,06	43,54	46,13	37,84	43,76	2,77		
3	Fraksi 1	50,76	49,73	52,84	52,84	51,80	47,66		50,94	2,01	3,20	
	Fraksi 2	41,44	45,07	47,14	48,18	41,96			44,76	3,01		
	Fraksi 3	42,98	44,53	46,6	49,71	48,67	46,08		46,43	2,51		
4	Fraksi 1	32,87	33,91	35,46					34,08	1,30	2,28	
	Fraksi 2	31,08	30,56	26,94					29,53	2,26		
	Fraksi 3	31,43	33,51	29,88					31,61	1,82		
5	Fraksi 1	48,17	47,66	52,32	56,48	54,39	53,87		52,15	3,54	1,91	
	Fraksi 2	51,20	55,80	48,50	39,20				48,68	7,00		
	Fraksi 3	47,50	49,00	45,90	45,40	57,30			49,02	4,84		
6	Fraksi 1	51,8	52,84	55,43	55,94	48,69			52,94	2,94	2,05	
	Fraksi 2	53,35	55,43	56,98	57,5				55,82	1,86		
	Fraksi 3	49,90	53,00	52,50	52,00				51,85	1,36		
7	Fraksi 1	26,94	27,45	27,45	27,46	20,20			25,90	3,19	1,13	
	Fraksi 2	29,10	28,60	29,10	29,60	30,10	22,40		28,15	2,86		
	Fraksi 3	28,08	28,60	29,10	22,89				27,17	2,88		
8	Fraksi 1	49,21	50,76	50,76	48,69				49,86	1,07	2,55	
	Fraksi 2	53,35	54,39	56,46	51,80				54,00	1,96		
	Fraksi 3	52,84	54,39	53,87	55,94	55,43			54,49	1,24		
9	Fraksi 1	49,40							49,40		2,94	
	Fraksi 2	54,91	53,87						54,39	0,74		
	Fraksi 3	45,58	52,84						49,21	5,13		
									Mean	SD	2,43	2,30

*MotionView*TM menunjukkan korelasi positif dengan kekuatan korelasi 0,97 dan nilai $p=0,000$. Kekuatan korelasi 0,97 menunjukkan adanya korelasi yang sangat

kuat antara kedua alat ukur tersebut, dengan tingkat kemaknaan yang tinggi (tabel 8).

Tabel 5. Perbedaan posisi ekspirasi saat pernafasan biasa (intra dan antar fraksi)

No.	Fraksi ke	Eks 1	Eks 2	Eks 3	Eks 4	Eks 5	Eks 6	Eks 7	Eks 8	Mean	SD intra-fx	SD mean antar-fx	
1	Fraksi 1	59,05	58,02	58,02	59,00	58,02	58,02			58,36	0,52	1,43	
	Fraksi 2	60,80	60,80	60,28	60,28	59,77				60,39	0,43		
	Fraksi 3	61,98	61,98	60,94	61,46	60,94	59,39			61,12	0,96		
2	Fraksi 1	54,39	53,87	54,39	54,39	54,39	54,91			54,39	0,33	0,99	
	Fraksi 2	53,4	53,4	53,92	53,4	53,92	53,40	51,33	56,51	53,25	0,88		
	Fraksi 3	53,9	52,87	52,87	52,35	52,35	52,35	50,28	52,87	52,42	1,09		
3	Fraksi 1	57,50	56,46	58,02	58,53	57,50	58,53			57,76	0,78	2,87	
	Fraksi 2	51,28	51,28	51,8	53,35	52,84				52,11	0,94		
	Fraksi 3	52,30	53,34	53,34	54,37	55,41	55,41			54,03	1,25		
4	Fraksi 1	39,09	39,61	39,61	39,69					39,50	0,28	1,73	
	Fraksi 2	38,33	39,37	35,74						37,81	1,87		
	Fraksi 3	41,28	41,80	40,76						41,28	0,52		
5	Fraksi 1	59,57	60,09	60,61	60,61	60,61	61,64	61,12		60,61	0,67	0,54	
	Fraksi 2	61,50	60,90	60,40	55,30					59,53	2,85		
	Fraksi 3	60,4	59,90	59,90	59,90	59,90				60,00	0,22		
6	Fraksi 1	60,61	62,16	62,68	62,16	59,57				61,44	1,30	1,43	
	Fraksi 2	63,20	63,71	64,23	63,71	63,20				63,61	0,43		
	Fraksi 3	59,20	61,30	61,30	61,80					60,90	1,15		
7	Fraksi 1	34,20	35,75	35,75	35,23	34,19				35,02	0,79	0,28	
	Fraksi 2	34,80	34,30	35,80	35,80	35,80	34,80			35,22	0,66		
	Fraksi 3	36,88	34,80	35,32	35,32					35,58	0,90		
8	Fraksi 1	57,50	58,53	58,02	59,05	61,12				58,84	1,40	2,99	
	Fraksi 2	62,68	64,68	64,23	64,75					64,09	0,96		
	Fraksi 3	61,12	62,68	64,23	63,71	62,68	69,41			63,97	2,87		
9	Fraksi 1	57,10	57,70							57,42		1,08	
	Fraksi 2	62,16	59,57	56,98						59,57	2,59		
	Fraksi 3	57,50	59,05	59,05						58,53	0,89		
										Mean	SD	1,06	1,48

Tabel 6. Korelasi antara amplitudo yang ditampilkan oleh instrumen berbasis ultrasonik dengan *MotionView*TM

		Amplitudo US	Amplitudo MV
Amplitudo US	Koefisien Korelasi	1,000	0,824
	p	-	0,000
Amplitudo MV	Koefisien Korelasi	0,824	1,000
	p	0,000	-

Tabel 7. Analisis selisih pengukuran pada instrumen berbasis ultrasonik dan *MotionView*TM pada seluruh sampling

No.		Nilai (mm)
1.	Mean	1,152
2.	95% Interval kepercayaan	
	Bawah:	0,973
	Atas:	1,332
3.	Median	1,020
4.	Simpangan Deviasi	2,066
5.	Minimum	4,700
6.	Maksimum	8,910

Tabel 8. Korelasi antara keseluruhan pengukuran yang ditampilkan oleh instrumen berbasis ultrasonik dengan *MotionView™*

		Pengukuran US	Pengukuran MV
Pengukuran US	Koefisien Korelasi	1,000	0,97
	P	-	0,000
	N	1987	1987
Pengukuran MV	Koefisien Korelasi	0,97	1,000
	P	0,000	-
	N	1987	1987

Diskusi

Perubahan posisi karena pergerakan yang terjadi secara fisiologis seperti pernafasan, menyebabkan faktor ketidakpastian pada saat perencanaan penyinaran menjadi bertambah. Keadaan ini dapat diminimalkan dengan memantau gerak pernafasan baik secara langsung maupun menggunakan *surrogate marker* sehingga besar pergerakan tersebut menjadi parameter yang terukur atau terkendali.

Salah satu *surrogate marker* yang paling lazim digunakan adalah marker dinding dada sebagai penanda pergerakan dan fase pernafasan pasien. Naik atau turunnya dinding dada diharapkan berkorelasi dengan pergerakan tumor sehingga penyinaran dapat diberikan pada ambang posisi dinding dada tertentu

Studi oleh Nøttrup dkk.⁶ memaparkan mengenai evaluasi variasi dalam *free-uncoached breathing* (pernafasan biasa tanpa panduan) pada pasien dengan kanker paru, serta memisahkan secara khusus mengenai variasi intra dan antar / inter-fraksi. Studi ini menggunakan *Real-time Position Management (RPM)* Varian. Studi ini menemukan variasi intrafraksi pada keadaan ekspirasi dengan rata-rata 1,6 mm (*range* 0,8-2,5 mm); lamanya pengamatan intra-fraksi dilakukan selama kurang-lebih 100 detik. Hasil ini sesuai dengan yang diperoleh pada penelitian ini, dimana variasi ekspirasi intrafraksi adalah sebesar 1,60 mm pada ekspirasi dalam, dan sebesar 1,06 mm pada ekspirasi biasa. Pada studi tersebut pengamatan inter-fraksi memperoleh perbedaan variasi yang besar dengan median 14,8 mm, nilai ini jauh lebih besar dibandingkan dengan variasi yang diperoleh pada penelitian ini yaitu sebesar 1,48 mm.

Penelitian lain oleh Hugo dkk., memaparkan nilai variasi inter-fraksi sebesar 4,97 mm hasil ini juga lebih besar dibandingkan nilai variasi inter-fraksi yang diperoleh

dalam penelitian ini. Hal ini dapat terjadi karena pada penelitian ini, kami melakukan *audio-coaching* (panduan melalui suara) untuk mengarahkan pasien saat sebelum pengambilan data, dan pada saat pengambilan data dilakukan; selain itu, penelitian oleh Nøttrup dkk.,⁶ memantau sebanyak 30 fraksi dan pada studi tersebut peneliti juga menjelaskan adanya kesalahan pemosisian pasien pada meja dan set-up saat memberikan *tattoo* pada kulit pasien, di mana hal ini bisa dipengaruhi oleh penurunan berat badan selama penyinaran.

Panduan (*coaching*) yang diberikan melalui suara berperan terutama dalam menstabilkan frekuensi pernafasan, sedangkan panduan secara visual selain dapat menstabilkan frekuensi pernafasan juga dapat menstabilkan amplitudo karena dapat menampilkan *threshold* yang telah disepakati. Cradenley dkk.⁷ mengemukakan pentingnya panduan visual untuk meningkatkan reproduibilitas posisi dinding dada maupun posisi internal organ pada saat *deep inspiration breath-hold* dengan *RPM System*. Penelitian oleh Baba dkk.⁸ juga menyimpulkan keuntungan penggunaan *gating* bersama dengan panduan audio-visual mengurangi *internal movement* dengan *mean* sebesar 37,6% (rentang 16-60%) dibandingkan dengan *free-breathing*.

George dkk.⁹ mengemukakan bahwa walaupun dilakukan dengan sistem *gating*, masih terdapat pergerakan residual (*residual motion*) karena tidak konsistennya fase pernafasan pasien. Penelitian ini menunjukkan panduan audio-visual memberikan keuntungan lebih besar dibandingkan panduan suara saja secara signifikan; dan panduan tersebut meningkatkan reproduibilitas intra-maupun inter-fraksi, sehingga dapat mengurangi variabilitas pergerakan residual.

Variasi posisi dinding dada pada saat inspirasi dalam maupun inspirasi biasa cenderung lebih besar

dibandingkan dengan pada saat ekspirasi. Pada penelitian ini diperoleh variasi intra dan inter-fraksi pada saat inspirasi biasa sebesar $\pm 2,43$ mm dan $\pm 2,30$ mm; sementara pada inspirasi dalam diperoleh variasi $\pm 2,11$ mm. Hal ini sesuai dengan studi oleh Vedam dkk.¹⁰ yang memaparkan bahwa simpangan deviasi pada saat inspirasi cenderung lebih besar dari saat ekspirasi, sehingga penggunaan *gating* pernafasan pada saat ekspirasi dikatakan lebih reproduibel dibandingkan pada saat inspirasi.

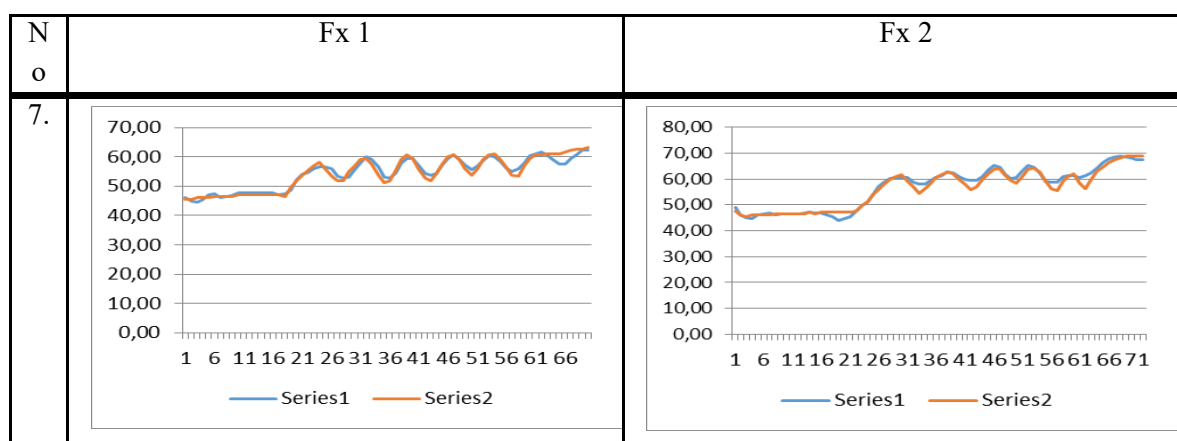
Performa instrumen monitoring pernafasan berbasis ultrasonik dapat ditunjukkan dengan nilai korelasi terhadap pembanding standar (*MotionView™*) dalam hal menentukan amplitudo maupun dalam keseluruhan titik pengukuran. Nilai korelasi yang ditunjukkan dalam menentukan amplitudo berkorelasi positif dengan kekuatan korelasi sangat kuat yakni sebesar 0,82 ($p=0,00$); sedangkan nilai korelasi yang ditunjukkan dalam menentukan setiap titik pengukuran juga berkorelasi positif dengan kekuatan korelasi sangat kuat yakni sebesar 0,97 ($p=0,00$).

Lu dkk.¹¹ melakukan penelitian yang membandingkan korelasi antara perubahan paru-paru saat bernafas yang dipantau dengan 4D-CT sebagai acuan, dan dikorelasikan dengan nilai yang diperoleh dari pergerakan dinding *thoraco-abdominal* yang diamati oleh *RPM varian*. Penelitian ini merekrut 5 pasien dengan penyinaran di area toraks dan abdomen. Penelitian ini menunjukkan korelasi antara perubahan volume paru yang teramati dengan 4D-CT scan dengan perubahan tinggi dinding *thoraco-abdominal* dengan kekuatan korelasi sebesar 0,96-0,99 (sangat kuat). Pada penelitian ini, walaupun didapati adanya korelasi sangat kuat,

penulis mendapati ketepatan secara individual nilai yang dihasilkan memiliki resolusi sedang yakni sebesar 1,1 mm dengan deviasi sebesar ± 2 mm. Hal ini menunjukkan bahwa dalam menggambarkan pergerakan dinding dada, instrumen monitoring berbasis ultrasonik dapat memberikan gambaran fase secara akurat, dengan toleransi terhadap titik perubahan terhadap posisi dinding dada sebesar 1,1 mm (± 2 mm).

Instrumen yang dicoba pada penelitian ini menggunakan *delay time* antar pengukuran dengan jarak 50 us, dan menghasilkan 960 kali pengukuran per detik. Nilai yang diperoleh kemudian dilakukan "*filtering*" dengan menghitung rerata dari setiap 40 nilai pengukuran, sehingga nilai yang muncul pada grafik diperoleh dengan *sampling rate* setiap 0,04 detik. Nilai ini masih dapat ditingkatkan apabila kapasitas *clock time* dapat ditingkatkan dan kapasitas komputer dalam menangkap data juga memadai. Peneliti telah mencoba untuk meningkatkan mekanisme *filtering* secara optimal, dengan cara mengganti komputer yang dipakai dengan spesifikasi yang lebih baik dan memperpendek *delay time* menjadi 10 us, dan rerata yang dihitung dilipat gandakan menjadi 100 nilai pengukuran. Hal ini menghasilkan *sampling rate* pada grafik setiap 0,011 detik.

Hasil dari modifikasi ini dicobakan pada 1 sampel, dan didapatkan gambaran seperti pada gambar 1. Pada perhitungan nilai korelasi, diperoleh nilai korelasi positif dengan kekuatan 0,96. Nilai simpangan deviasi juga berkurang dari ± 2 mm menjadi $\pm 1,3$ mm. Modifikasi ini masih dapat dikaji lagi dengan menggunakan algoritma penyaringan / *filtering* yang lebih kompleks.



Gambar 1. Grafik fase pernafasan pada sampel dengan metode penyaringan modifikasi.

Kesimpulan dan Saran

Terdapat perbedaan posisi dinding dada pada saat inspirasi dalam, inspirasi biasa dan ekspirasi biasa, baik pada pengamatan intra maupun inter-fraksi. Untuk mengurangi perbedaan posisi dinding dada pada intra maupun inter-fraksi dapat dilakukan usaha untuk memberikan *feed-back* pada pasien, agar pasien mengetahui ambang / *threshold* yang diberikan, sehingga besarnya pergerakan posisi dinding dada menjadi lebih terkontrol.

Penelitian pertama untuk menguji kinerja alat monitoring pergerakan nafas, menunjukkan bahwa dalam uji korelasi dalam hal amplitudo gerakan dinding dada, hasil yang diperoleh dengan instrumen pengukuran berbasis ultrasonik menunjukkan arah korelasi positif, dengan kekuatan korelasi sangat kuat terhadap pengukuran sebenarnya. Dalam uji korelasi terhadap seluruh titik

pengukuran secara keseluruhan, instrumen pengukuran berbasis ultrasonik menunjukkan korelasi positif dengan kekuatan korelasi sangat kuat. Ketepatan resolusi yang dapat dicapai oleh instrumen berbasis ultrasonik adalah sebesar 1,1 mm dengan simpangan deviasi ± 2 mm.

Untuk mengembangkan lagi potensi instrument berbasis ultrasonik untuk memonitor siklus pernafasan secara presisi, dapat dilakukan penelitian lain menggunakan sensor lain yang memiliki *grade industry*, melakukan multiplikasi jumlah sensor, dan mengganti algoritma *filtering* yang lebih sempurna. Perlu juga dilakukan penelitian lanjutan untuk menyempurnakan *interfacing* maupun ketepatan pengukuran dengan ketersediaan dana yang lebih mencukupi dan tenaga profesional yang lebih memadai, sekaligus dengan pengulangan fraksi yang lebih banyak /panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Perez CA, editor. Principle and practice of Radiation Oncology. 5 ed. Philadelphia USA: Lippincott Williams & Wilkins; 2008.
- I Jacobs JV, P Scalliet. Influence of respiration on calculation and delivery of the prescribed dose in external radiotherapy. *Radiother Oncol* 1996;39:121-8
- Wojtowicz L. Benefits, disadvantages, and challenges of respiratory gating used to treat left sided breast cancer patients receiving radiotherapy [internet]. Wisconsin: Graduate School University of Wisconsin-La Crosse; 2012 [Cited July 2013]. Available from: http://www.uwlax.edu/uploadedFiles/Academics/Graduate_Programs/Medical_Dosimetry/Wojtowicz.pdf
- Coen W H, BC John Cho, Eugene Damen. Reduction of cardiac and lung complication probabilities after breast irradiation using conformal radiotherapy with or without intensity modulation. *Radiother Oncol* 2002;62:161-71.
- Ann B, Jane Dobbs, Stephen Morris, editor. Practical radiotherapy planning. 4 ed. Italy: Hodder Arnold; 2009..
- Nottrup JT KS, Perdesen AN. Intra- and interfraction breathing variation during curative radiotherapy for lung cancer. *Radiother Oncol* 2007;84:40-8.
- Crandley E.F. PWR, M.M. Morris Efficiency and accuracy of goggle-based visual feedback for voluntary deep inspiration breath hold (DIBH) radiation therapy of the left breast. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2012;84(3):S255
- Baba F SY, Matsui T. Abstract. Clinical experience with respiratory gated stereotactic body radiation therapy (SBRT) for lung tumors using audio coaching. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2012;84(3):S252-53.
- Rohnini George TDC, Sastry S.V. Audio-visual biofeedback for respiratory gated radiotherapy: impact of audio instruction and audio-visual biofeedback on respiratory gated radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2006;65(3):924-33.
- Vedam S, Keall, PJ, Kini, VR, Mohan, R. Determining parameters for respiration-gated radiotherapy. *Med Phys* 2001;28(10):2139-46.
- Lu W, Daniel AL, Parag JP, . Comparison of spirometry and abdominal height as four-dimensional computed tomography metrics in lung. *Med Phys*. 2005;32(7):2351-7.